

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**“INFLUENCIA DE LA VARIEDAD Y EL GRADO DE  
MADUREZ EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y  
ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE ALMENDRA DE  
MANGO (*Mangifera indica* L.)”**

**PRESENTADO POR**

**Bach. MARIA DE FATIMA AREVALO OLIVA**

**Bach. MAGDA ISABEL JAVIER VILLANUEVA**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente trabajo de tesis titulado: “INFLUENCIA DE LA VARIEDAD Y EL GRADO DE MADUREZ EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE ALMENDRA DE MANGO (*Mangifera indica* L)”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por Bach. AREVALO OLIVA MARIA DE FATIMA y Bach. JAVIER VILLANUEVA MAGDA ISABEL, ha sido revisado y aprobado por la asesora Dra. Elza Aguirre Vargas, designada mediante resolución decanal N°313-2019-UNS-FI.

---

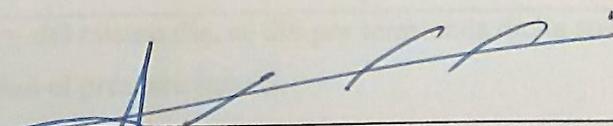
**Dra. Elza Aguirre Vargas**  
Asesora

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



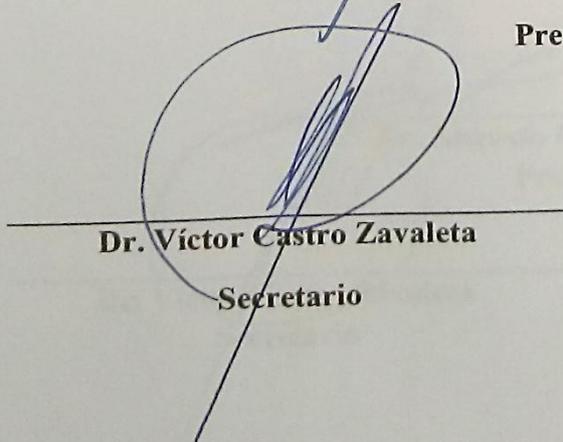
**HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

El presente trabajo de tesis titulado: “INFLUENCIA DE LA VARIEDAD Y EL GRADO DE MADUREZ EN LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE ALMENDRA DE MANGO (*Mangifera indica* L)”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por Bach. AREVALO OLIVA MARIA DE FATIMA y Bach. JAVIER VILLANUEVA MAGDA ISABEL, que tienen como asesor al docente Dra. Elza Aguirre Vargas designado por resolución N°313-2019-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 13 de Agosto del 2019 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N°266-2019-UNS-CFI

  
\_\_\_\_\_

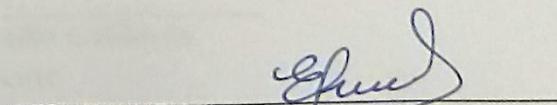
**Dr. Augusto Castillo Calderón**

**Presidente**

  
\_\_\_\_\_

**Dr. Víctor Castro Zavaleta**

**Secretario**

  
\_\_\_\_\_

**Dra. Elza Aguirre Vargas**

**Integrante**





# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Siendo las 06:00 pm. del 13 de Agosto del dos mil diecinueve se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N°266-2019-UNS-CFI integrado por los docentes:

- > Dr. Augusto Castillo Calderón Presidente
- > Dr. Victor Castro Zavaleta Secretario
- > Dra. Elza Aguirre Vargas Integrante, para dar inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

**“INFLUENCIA DE LA VARIEDAD Y EL GRADO DE MADUREZ EN LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE ALMENDRA DE MANGO (Mangifera indica L)”** elaborada por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- > **Bach. Javier Villanueva Magda Isabel**
- > **Bach. Arevalo Oliva María De Fatima**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas**, y co asesor al docente **Dr. Gilbert Rodriguez Paucar**.

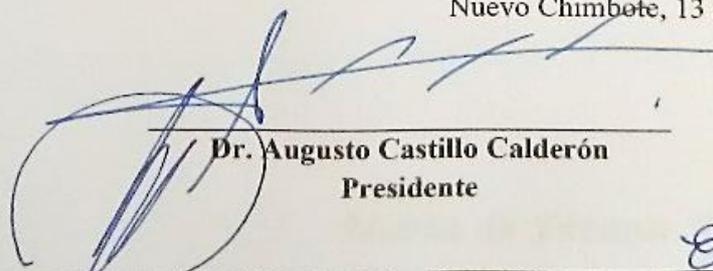
Finalizada la sustentación, los Tesisistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

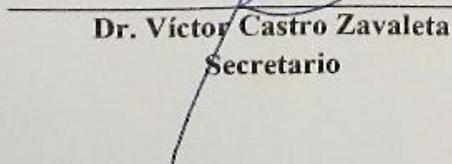
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

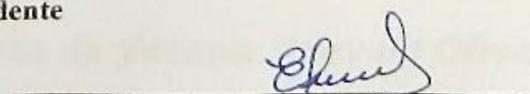
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACION
AREVALO OLIVA MARIA DE FATIMA	18	27

Siendo las 07:00 pm del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 13 de Agosto del 2019

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Augusto Castillo Calderón**  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Victor Castro Zavaleta**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Elza Aguirre Vargas**  
Integrante

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, mi mayor fuente de fuerza espiritual, por permitirme llegar hasta este momento con salud y felicidad, y por concretar una de mis metas más soñadas, y espero me siga colocando oportunidades de crecimiento profesional y también personal, que me permitan contribuir en la mejora del campo agroindustrial.

A mis padres, Edith y Robert, por acompañarme y apoyarme en los 5 años de carrera universitaria y en cada etapa de este proyecto, gracias por siempre confiar en mí, dándome palabras de incentivo en los momentos más difíciles, sin ustedes no tendría la oportunidad de seguir y luchar por mis sueños.

A Carolina, Marcia y Leonardo, que siempre estuvieron alentándome y ayudándome en lo que necesitaré para la culminación de este trabajo. Mi vida no sería la misma sin ustedes, gracias por creer en mis capacidades, y por todo el amor y compañerismo que me brindan.

A mis incondicionales, Almendra y Mélanhy, gracias por estar siempre ahí para mí, gracias por los momentos compartidos, por sus charlas y consejos, por sus buenos deseos, y por impulsarme a ser mejor, aprecio y valoro su amistad desde inicios de la carrera, ya saben todas para una y una para todas.

*María de Fátima Arevalo Oliva*

## DEDICATORIA

Ante todo este trabajo se lo dedico a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, haberme dado salud para lograr mis objetivos y por iluminarme en todo el trayecto a mi carrera y por haber estado conmigo en los momentos buenos y malos, además de su infinita bondad, amor y fortaleza para seguir adelante ante todo.

Así mismo el presente trabajo se lo dedico a mis padres Lorenzo y Teresa quienes me han apoyado incondicionalmente, por sus consejos, valores, motivación, amor y estar conmigo en todo el proceso universitario y apoyarme en todo el camino para mi desarrollo profesional.

A mis hermanos Jesús, Flor y José Ángel quienes estuvieron apoyándome y me daban ánimos, fuerzas para culminar el trabajo, quienes me motivaron para salir adelante y culminar mi carrera profesional satisfactoriamente y a Enma quien me acompañó en todo momento, por el apoyo incondicional y por la motivación que me da siempre para seguir adelante a pesar de todos los obstáculos y caídas.

Se lo dedico a Alexandra y a mi sobrino Janxel, quienes estuvieron conmigo en mis primeros logros de la universidad, por animarme y alentarme para seguir adelante en todo lo que me proyecte.

A mis amigos, en especial a Rosita, Alex y Jaime por su apoyo, motivación y compañía a través de todos estos años, gracias por sus consejos que me brindaron en todo el proceso universitario.

*Magda Isabel Javier Villanueva*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos llegar con salud hasta este momento, y ayudarnos a cumplir esta meta en común. En sus manos dejamos todos nuestros planes, confiamos en su divina voluntad.

A nuestros padres quienes son nuestro motivo principal para seguir luchando por nuestras metas, gracias por darnos la oportunidad de estudio, y apoyarnos en todo momento.

A nuestra asesora la Dra. Elza Aguirre Vargas, y a nuestro co asesor el Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por sus enseñanzas, orientación, y ayuda en cada fase de la tesis, su experiencia y sabiduría fueron puntos claves en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Lenin por su ayuda en la parte final de este trabajo, gracias por los consejos, y por su disposición a estar siempre preparado en servir; de igual manera queremos agradecer a la bibliotecaria Silvia por las conversaciones, consejos, su paciencia y amabilidad en el servicio de préstamo y consulta de libros.

A nuestro amigo Pedro de la UNALM, quien apareció en el momento preciso, porque sin su ayuda la ejecución de este trabajo no hubiera sido posible, y gracias también a los chicos del IITA por los servicios prestados.

A la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C. por habernos apoyado en darnos la facilidad en la recolección de la materia prima para la ejecución del proyecto.

A nuestros amigos de la escuela de agroindustria, promoción 2013, a los que siempre estuvieron ahí, con quienes compartimos buenos momentos a lo largo de los 5 años de la carrera universitaria; para quienes estuvieron dispuestos a colaborar con lo que necesitáramos en el desarrollo experimental de la tesis, gracias por su amistad, siempre los recordaremos con mucho cariño.

*Magda y María.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Mango .....	20
2.1.1. Taxonomía. ....	21
2.1.2. Características del mango. ....	22
2.1.3. Composición química. ....	22
2.2. Indicadores de la madurez o firmeza del mango.....	23
2.2.1. Color externo del fruto.....	24
2.2.2. Color interno de la pulpa.....	25
2.2.3. Firmeza. ....	26
2.2.4. Contenido de sólidos solubles totales .....	26
2.2.5. Determinación de la acidez titulable.....	27
2.3. Principales variedades de mango en Perú.....	27
2.3.1. Mango Kent. ....	28
2.3.2. Mango Edward.....	29
2.4. Subproductos del aprovechamiento industrial del mango .....	29
2.5. Semilla de mango.....	31
2.5.1. Partes de la semilla de mango .....	32
2.5.2. Usos de la almendra de semilla de mango .....	32
2.5.3. Composición en la almendra de semilla de mango.....	33
2.6. Aceites y grasas vegetales.....	35
2.6.1. Composición química. ....	36
2.6.2. Propiedades antioxidantes.....	38
2.6.3. Extracción por prensado en frío.....	39
2.6.4. Diferencia entre el aceite vegetal virgen y refinado. ....	39
2.6.5. Aceite de almendra de mango.....	40
2.7. Características fisicoquímicas del aceite.....	41
2.7.1. Densidad relativa.....	41
2.7.2. Índice de refracción.....	41
2.7.3. Índice de acidez.....	42

2.7.4. Índice de peróxidos.....	42
2.7.5. Índice de yodo.....	43
2.7.6. Índice de anisidina.....	43
2.7.7. Valor TOTOX.....	43
2.8. Estabilidad oxidativa del aceite.....	44
2.8.1. Método Rancimat.....	45
2.8.2. Relación entre la estabilidad oxidativa y la temperatura.....	46
2.8.3. Relación entre el índice de estabilidad oxidativa y la energía de activación. .....	47
2.9. Cromatografía de gases en aceites vegetales.....	48
2.10. Polifenoles totales.....	50
2.10.1. Compuestos fenólicos en el aceite.....	50
2.10.2. Método Folin - Ciocalteu.....	53
2.11. Capacidad antioxidante.....	53
2.11.1. Mecanismos de los antioxidantes.....	54
2.11.2. Método DPPH.....	56
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
3.1. Lugar de ejecución.....	57
3.2. Materiales y equipos.....	57
3.2.1. Materia prima.....	57
3.2.2. Reactivos.....	57
3.2.3. Materiales de vidrio.....	58
3.2.4. Equipos.....	59
3.3. Metodología de análisis.....	60
3.3.1. Análisis proximal para la almendra de mango.....	60
3.3.2. Análisis fisicoquímicos para el aceite de almendra de mango.....	60
3.3.3. Estabilidad oxidativa.....	61
3.3.4. Perfil de ácidos grasos.....	63
3.3.5. Polifenoles totales.....	64
3.3.6. Capacidad antioxidante.....	66
3.4. Metodología de extracción del aceite de almendra de mango por prensado en frío. .....	68
3.5. Procedimiento experimental.....	71
3.6. Diseño estadístico.....	72

3.6.1. Evaluación de la estabilidad oxidativa .....	72
3.6.2. Evaluación de los análisis proximales, fisicoquímicos, perfil de ácidos grasos, polifenoles totales y capacidad antioxidante. ....	74
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	75
4.1. Clasificación y caracterización del mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	75
4.2. Caracterización proximal de la almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	78
4.2.1. Humedad.....	78
4.2.2. Cenizas.....	79
4.2.3. Porcentaje de grasa.....	80
4.3. Extracción del aceite de almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	81
4.3.1. Análisis de varianza para el rendimiento de extracción de aceite.....	84
4.4. Análisis al aceite de almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	84
4.4.1. Densidad relativa.....	85
4.4.2. Índice de refracción.....	88
4.4.3. Índice de acidez.....	92
4.4.4. Índice de peróxidos .....	95
4.4.5. Índice de yodo .....	99
4.4.6. Índice de anisidina .....	102
4.4.7. Valor TOTOX.....	104
4.4.8. Polifenoles totales .....	107
4.4.9. Capacidad antioxidante .....	111
4.4.10. Perfil de ácidos grasos .....	113
4.5. Determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	118
4.6. Estimación de la vida útil del aceite de almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	122
V. CONCLUSIONES.....	126
VI. RECOMENDACIONES .....	127
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
VIII. ANEXOS.....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional del mango por 100g de pulpa fresca comestible .....	23
Tabla 2 Composición proximal de la almendra de semilla de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.).....	33
Tabla 3 Perfil de aminoácidos de la semilla de mango (g/100g de proteína).....	34
Tabla 4 Vitaminas en la almendra de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) en mg por cada 100g. ....	35
Tabla 5 Minerales en la semilla de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	35
Tabla 6 Modelo del experimento .....	73
Tabla 7 Modelo estadístico de los análisis al aceite de almendra de mango .....	74
Tabla 8 Clasificación morfológica del mango de acuerdo a variedad y grado de madurez. ....	75
Tabla 9 Caracterización física del mango variedad Edward y Kent en los dos grados de madurez.....	76
Tabla 10 Composición química proximal de la almendra de mango.....	78
Tabla 11 Rendimiento en la extracción por prensado en frío del aceite de almendra de mango.....	81
Tabla 12 Análisis de varianza para el rendimiento en la extracción de aceite de almendra de mango.....	84
Tabla 13 Densidad relativa del aceite de almendra de mango.....	85
Tabla 14 Análisis de Varianza para densidad relativa en el aceite de almendra de mango..	88
Tabla 15 Índice de refracción en el aceite de almendra de mango. ....	89
Tabla 16 Análisis de Varianza para índice de refracción en el aceite de mango.....	91
Tabla 17 Índice de acidez en el aceite de almendra de mango .....	92
Tabla 18 Análisis de Varianza para índice de acidez en el aceite de almendra de mango. ....	94
Tabla 19 Índice de peróxidos en el aceite de almendra de mango .....	95
Tabla 20 Análisis de Varianza para el índice de peróxidos del aceite de almendra de mango.....	98
Tabla 21 Índice de yodo en el aceite de almendra de mango .....	99
Tabla 22 Análisis de Varianza para índice de yodo en el aceite de almendra de mango. ....	101
Tabla 23 Índice de anisidina del aceite de almendra de mango.....	102
Tabla 24 Análisis de Varianza para el índice de anisidina del aceite de almendra de mango.....	103
Tabla 25 Valor TOTOX en el aceite de almendra de mango .....	104
Tabla 26 Análisis de Varianza en el valor TOTOX del aceite de almendra de mango.....	106
Tabla 27 Contenido de polifenoles totales en el aceite de almendra de mango. ....	107
Tabla 28 Análisis de Varianza para polifenoles totales del aceite de almendra de mango..	110
Tabla 29 Capacidad antioxidante del aceite de almendra de mango. ....	111

Tabla 30 Análisis de Varianza para capacidad antioxidante del aceite de almendra de mango.....	113
Tabla 31 Perfil de ácidos grasos del aceite de almendra de mango.....	114
Tabla 32 Ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro.....	116
Tabla 33 Índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de almendra de mango a tres temperaturas.....	118
Tabla 34 Análisis de Varianza en el índice de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango.....	121
Tabla 35 Valores de regresión lineal A y B del aceite de almendra de mango..	123
Tabla 36 Tiempo de vida útil para el aceite de almendra de mango a 20°C. ....	124
Tabla 37 Resultados generales de la caracterización al aceite de almendra de mango	125
Tabla 38 Modelo estadístico ANOVA.....	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) .....	21
Figura 2. Colorimetría externa de la piel del mango. ....	25
Figura 3. Grados de color de la pulpa de mango. ....	25
Figura 4. Variedades de mango más comercializadas en Perú. ....	28
Figura 5. Mango Kent. ....	29
Figura 6. Mango Edward. ....	29
Figura 7. Semilla de mango abierta y dividida. ....	31
Figura 8. Capas externas que rodean la almendra de mango. ....	32
Figura 9. Método Rancimat. ....	46
Figura 10. Esquema general de un cromatógrafo de gases. ....	49
Figura 11. Estructura de principales ácidos fenólicos. ....	52
Figura 12. Estructura de los principales flavonoides. ....	52
Figura 13. Mecanismo de acción del reactivo de Folin – Ciocalteu. ....	53
Figura 14. Reacción de una molécula de DPPH con un agente antioxidante. ....	56
Figura 15. Diagrama de bloque de la obtención de aceite de almendra de mango. ....	68
Figura 16. Flujo del proceso experimental. ....	71
Figura 17. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez pintón a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h. ....	120
Figura 18. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez maduro a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h. ....	120
Figura 19. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez pintón a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h. ....	120
Figura 20. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez maduro a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h. ....	120

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. ....	116
-----------------	-----

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Equipos y materiales. ....	141
Anexo 2. Análisis proximal de la almendra de mango. ....	142
Anexo 3. Análisis al aceite de almendra de mango. ....	143
Anexo 4. Curva de calibrado para el método para determinar polifenoles totales. ....	150
Anexo 5. Curva de calibrado para el método DPPH. ....	151
Anexo 6. Clasificación y caracterización física al fruto de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro. ....	152
Anexo 7. Extracción y obtención del aceite de almendra de mango. ....	153
Anexo 8. Perfil de ácidos grasos del aceite de almendra de mango en las dos variedades y grados de madurez. ....	154
Anexo 9. Gráficas de extrapolación del aceite de almendra de mango en ambas variedades y grados de madurez. ....	156
Anexo 10. Modelo estadístico ANOVA para la estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango. ....	158

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de las variedades: Edward y Kent y los grados de madurez: pintón y maduro en las características fisicoquímicas y estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica L.*), previamente extraído por prensado en frío, clarificado por centrifugación y almacenado bajo atmósfera de nitrógeno y en refrigeración. La estabilidad oxidativa se determinó mediante la prueba de Rancimat, con los parámetros de temperatura (130, 140 y 150°C) y flujo de aire (15 L/h), Los resultados fueron evaluados mediante el ANOVA ( $p < 0.05$ ) con el fin de determinar la influencia de la variedad y el grado de madurez en las características fisicoquímicas así como la temperatura en la determinación de la estabilidad oxidativa.

De acuerdo a las características fisicoquímicas realizadas al aceite de almendra de mango se encontró una diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza en las variables de variedad y grado de madurez, se encontró una relación directa en el grado de madurez y las características de densidad, índice de refracción, acidez, yodo, peróxidos y anisidina debido a que un grado de madurez maduro presentó un mayor contenido de ácidos grasos insaturados (oleico), de la misma manera el grado de madurez presentó una relación inversa con el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa, de la cual se obtuvo que el aceite de la variedad Edward en un grado de madurez pintón es un aceite más estable y de buena calidad debido al bajo contenido de índice de peróxidos y de acidez presentes en el aceite, además que contiene una mayor contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante, lo cual conserva mejor el aceite alargando su vida útil tal como señala los datos de estabilidad oxidativa presentando un tiempo de vida útil con un valor OSI de 12.89 años.

**Palabras claves:** Mango (*Mangifera indica L.*), almendra de mango, aceite, variedad, y grado de madurez.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of the varieties: Edward and Kent and the degrees of maturity: partially ripe and ripe on the physicochemical characteristics and oxidative stability of mango almond oil (*Mangifera indica* L.), previously extracted by pressing in cold, clarified by centrifugation and stored under nitrogen atmosphere and in refrigeration. The oxidative stability is determined by the Rancimat test, with the temperature parameters (130, 140 and 150 ° C) and the air flow (15 L / h). The results were evaluated by ANOVA ( $p < 0.05$ ) in order to determine the influence of the variety and the degree of maturity on the physicochemical characteristics as well as the temperature in the determination of oxidative stability.

According to the physicochemical characteristics of mango almond oil, a significant difference was found with a level of 95% confidence in the variables of variety and degree of maturity, a direct relationship was found in the degree of maturity and the characteristics of Density, refractive index, acidity, iodine, peroxides and anisidine due to a mature maturity degree present with a higher content of unsaturated fatty acids (oleic), in the same way the maturity degree has an inverse relationship with the total polyphenol content, antioxidant capacity and oxidative stability, of the assigned quality that Edward variety oil at a grade of maturity is a more stable oil and of good quality due to the low content of peroxides and acidity in the oil, in addition to It contains a higher content of total polyphenols and antioxidant capacity, which preserves the oil better, extending its life. As stated in the Oxidative Stability Data Presenting a Lifetime with UN OSI value of 12.89 years.

**Keywords:** Mango (*Mangifera indica* L.), mango almond, oil, variety, and degree of maturity.

## I. INTRODUCCIÓN

La creciente industrialización de alimentos para exportación en el país conlleva a aprovechar materias primas que sean cultivados en un mayor volumen en las zonas con mayor actividad agrícola del Perú. Según el INEI (2015), informa que el mango se encuentra en el top 5 de frutas más cultivadas y exportadas en el Perú, siendo la región Piura quien tiene un total de 27.120 hectáreas de superficie cultivada de mango, abarcando el 78% de la producción del fruto, seguidamente se ubica la región Lambayeque con 12%, y posteriormente le sigue Ancash con un total del 10%.

Estos datos confirman que el mango es un fruto muy solicitado por el consumidor, siendo de importancia económica para el país. El mango se encuentra en diversas presentaciones en el mercado, ya sea en estado fresco, en cubos, en almíbar, néctares, mermeladas, etc., pero el problema con la transformación del mango en las industrias es que solo la pulpa es aprovechada, generando un gran volumen de residuos en el proceso (40% al 50% aprox.), es decir los subproductos como cáscara y semilla son desechados, arrojados a basurales (Rodríguez, 2014).

Guerrero et al. (2012) identificó a las variedades “rojas” como las principales del Perú, siendo la variedad Kent en estado fresco más comercial en exportación, le siguen en porcentajes las variedades Edward y Tommy Atkins, estas son usadas en las industrias de fresco y procesado, en esta última se ubica la industria de mango congelado IQF la cual trabaja con grados brix entre 11 a 14°Bx, conocido como grado de madurez pintón, y la industria pulpeadora, que incluye almibares, jugos, néctares, entre otros, que trabaja con grados brix de 15°Bx a más, conocido como grado de madurez maduro.

Actualmente se están utilizando alternativas para el uso de los subproductos: la semilla y la piel del mango (Ordoñez, 2002). Investigaciones recientes señalan que la cáscara puede ser aprovechada para extracción de pectinas, enzimas, y como harina para panificación y

galletería; y que la semilla de mango contiene en su interior grandes componentes antioxidantes y aceite. Pero la semilla a comparación de la cáscara, es la parte que tiene un mayor volumen en el mango, del 10 al 50% del peso, mientras que la cáscara del 15-20% de la fruta, dependiendo de la variedad de mango (Culebro, 2017). La semilla de mango contiene en su interior una almendra, que representa del 45-75% de la semilla entera (Culebro, 2017). Kittiphoom & Sutasinee (2013) encontraron aceite en la almendra de la semilla de mango, la cual puede ser comestible, y puede usarse en confitería, de cosméticos y/o elaboración de jabones. Además estos investigadores señalan que se puede usar como sustituto de la manteca de cacao en la producción de chocolates, debido al agradable aroma del aceite y a su composición en ácidos grasos. Por estas razones el presente estudio busca evaluar la influencia de las variedades Edward y Kent en los grados de madurez pintón y maduro, en las características fisicoquímicas y estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.). Los objetivos específicos son los siguientes:

- Clasificar y caracterizar el mango en función a la variedad y grado de madurez
- Extraer y caracterizar físico químicamente la almendra de mango (*Mangifera indica* L.).
- Extraer aceite de la almendra de mango por el método de extracción de prensado en frío.
- Caracterizar físico químicamente el aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.).
- Evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de la almendra de mango (*Mangifera indica* L.) por el método de Rancimat y estimar su vida útil.

En base a la justificación expuesta se planteó el siguiente problema: ¿Cómo influye la variedad y el grado de madurez en las características fisicoquímicas y estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.)?

Teniendo como posibles limitantes las temporadas de disponibilidad de los mango Kent y Edward, y la falta de estudios previos de investigación al aceite de almendra de mango.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Mango

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical típica originaria del sureste asiático reconocida a nivel mundial por su sabor, calidad y excelencia. Los mangos pertenecen al género *Mangifera*, que consiste en numerosas especies de árboles frutales tropicales en la familia de plantas con flores Anacardiaceae. Existen más de mil variedades de mango cultivadas, pero solo algunas se producen a escala comercial (Barbosa, 2012). Es el quinto frutal con mayor producción a nivel mundial, antecedido por los cultivos de manzana, banano y naranja; y es el segundo cultivo tropical de importancia económica a nivel mundial, superado sólo por el banano (Barbosa, 2012).

En el Perú, el mango es una de las principales frutas de exportación, su producción ha venido creciendo de forma exponencial, aunque la India es el país líder en producción mundial del mango con un 64%, seguida por China y México. De la gran diversidad de variedades de mango, son las “rojas” las más cultivadas actualmente en el Perú, siendo la variedad Kent en estado fresco más comercial en exportación, le siguen en orden decreciente en porcentaje las variedades Haden, Tommy Atkins y Edward (Guerrero et al., 2012).

El mango es rico en fitoquímicos y nutrientes que lo califican como un "superfruta", un término usado para resaltar el valor potencial para la salud de ciertas frutas comestibles. La fruta es alta en fibra dietética prebiótica, vitamina C, polifenoles y carotenoides (Fowomola, 2010).

A pesar de que el mango no es un cultivo nativo del continente americano pero ocupa un lugar primordial en su producción y consumo, debido a su aroma, sabor y a su elevado valor nutricional, es una fruta con gran contenido en agua, , fibra,

azúcares, pigmentos, vitaminas y minerales. Las características del mango son diferentes de acuerdo a la variedad, por ejemplo la pulpa que presenta distintas coloraciones variando del color amarillo al anaranjado, y así también puede o no presentar fibras. Al interior del fruto se encuentra una semilla plana con un endocarpio leñoso cuyo tamaño es variable al igual que la forma del mango (Culebro, 2017).



*Figura 1.* Mango (*Mangifera indica* L.)

*Fuente:* <http://biologia-5toc.weebly.com/frutas/fruto-mango>

### 2.1.1. Taxonomía.

Según Pérez (2013) las características taxonómicas del mango son las siguientes:

**Reino:** Plantae.

**Filum:** Magnoliophyta.

**Clase:** Magnoliopsida.

**Orden:** Sapindales.

**Familia:** Anacardiaceae.

**Género:** *Mangifera*.

**Especie:** *Mangifera indica* L.

Cáceres & Franco (2011) definen al mango como un fruto carnoso, sabroso y refrescante, es también conocido como "melocotón de los trópicos". Es el miembro más importante de la familia de las Anacardiáceas o familia del

marañón, género *Mangifera*, el cual comprende unas 50 especies, nativas del sureste de Asia e islas circundantes, salvo la *Mangifera africana* que se encuentra en África. Está reconocido en la actualidad como uno de los tres o cuatro frutos tropicales más finos.

### **2.1.2. Características del mango.**

Las características del mango como forma, color, tamaño o peso son muy variables, pero por lo general el mango tiene forma oblonga, y color verde en estado pintón, y amarillo o rojo en estado maduro. La cáscara es uniforme y contiene pequeñas lenticelas circulares. Su pulpa varía también puede ser muy fibrosa, o muy jugosa dependiendo de la variedad (Rodríguez, 2014). Cáceres & Franco (2011) brindan las siguientes características para el mango:

- **Forma:** Su forma varía de acuerdo al tipo de mango, pero generalmente ovoide, oblonga o arriñonada, notoriamente aplanada, redondeada u obtusa en ambos extremos, con un hueso central grande, aplanado y con cubierta leñosa.
- **Tamaño y peso:** De largo mide de 4 a 25cm, y 1.5-10cm de grosor, su peso varía desde 150 g hasta los 2 kg.
- **Color:** El color se encuentra entre verde, amarillo y otras tonalidades de rosa, rojo y violeta, con brillo o sin brillo. Su pulpa es de color amarillo intenso, casi anaranjado. El color depende de las condiciones ambientales en la cosecha del mango.
- **Sabor:** Dulce, agradable, exótico y aromático.

### **2.1.3. Composición química.**

El mango tiene alto componente de vitaminas esenciales (tales como A y C), minerales, antioxidantes y fibra por lo que constituye un excelente suplemento

dietético. Aunque muchos de los valores de la composición del mango son variables, dependiendo de la variedad, localidad, clima, y del grado de madurez (Barbosa, 2012).

La cáscara y la pulpa del mango contienen otros fitonutrientes, como los pigmentos antioxidantes (carotenoides y polifenoles) y los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y -6 (Fowomola, 2010).

El componente mayoritario es el agua, el contenido de azúcar varía de 10 a 20%. Son ricos en fibra dietética soluble conocida como pectina, el ácido predominante es el ácido cítrico, y es un poderoso antioxidante (Báttén, 2014).

Tabla 1.

*Composición nutricional del mango por 100g de pulpa fresca comestible.*

<b>Valor nutricional (100g)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>
Agua	81.7g
Energía	131kcal
Proteína	1.7g
Carbohidratos	5.6g
Fibra	5.8g
Ceniza	1g
Calcio	10mg
Fósforo	67mg
Hierro	0.6mg
Vitamina C	27.7mg
Vitamina A	3.894mg
Vitamina B1 (Tiamina)	0.058mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0.057mg
Vitamina E	0.100mg
Ácido ascórbico reducido	6.8ug
Niacina (Ácido nicotínico)	1.5mg

*Fuente:* DIRCETUR, 2014.

## **2.2. Indicadores de la madurez o firmeza del mango**

Para poder conocer que son los indicadores de madurez, es necesario definir que es la madurez de un fruto, en su libro Chávez (2016) relata que la madurez sólo es una característica de calidad de los frutos percederos que influye durante la

comercialización, y también origina cambios organolépticos, morfológicos, y de composición en el frutas, hortalizas y flores.

En la maduración ocurren reacciones de hidrólisis, en el estado verde del fruto se desdoblán los carbohidratos sintetizados, es decir el almidón y las pectinas, en moléculas pequeñas, tal como los azúcares y ácidos pépticos, estas reacciones se ven en los cambios de consistencia, sabor, aroma y color (Fonseca et al., 2012).

En post cosecha, un mango pintón es aquel que terminó su crecimiento en planta y desarrollo natural, es decir ha alcanzado la madurez fisiológica como para que después de la cosecha, y del manejo post- cosecha, su calidad sea, por lo menos, la mínima aceptable, también se le denomina “verde” al punto típico de cosecha; y el mango maduro es cuando el fruto ha alcanzado un estado suficiente de desarrollo en donde el fruto presenta la máxima calidad estética y sensorial, donde ya están listos para el consumo humano inmediato (Bosquez, 2017).

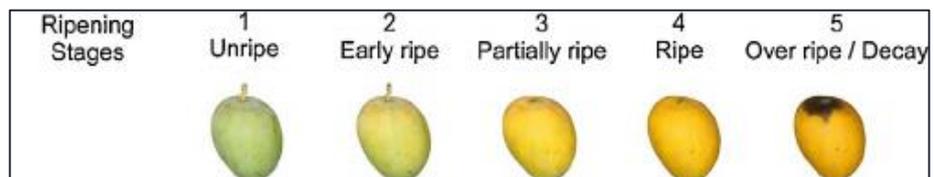
El mango, como cualquier otro fruto, presenta cambios internos y externos conforme se va desarrollando la maduración, y para poder reconocer los grados de madurez del fruto, es decir la etapa fisiológica en la que se encuentra el fruto, es necesario usar los indicadores mencionados a continuación, ya sean visuales, físicos o químicos. Cabe recalcar que un solo indicador no garantiza el reconocimiento del grado de madurez de un fruto, es necesario combinar dos o tres indicadores por lo menos, y no deben ser solo métodos visuales (Chávez, 2016).

### **2.2.1. Color externo del fruto.**

Característica más notoria en los frutos conforme avance la maduración, por eso se considera como un indicador para definir la madurez. Los cambios de color son a causa de la degradación de la clorofila, y el aumento de otros

pigmentos, como las antocianinas, carotenoides, entre otros; el fruto al madurar cambia de color verde a color amarillo naranja (Fonseca et al., 2012).

Este es un método visual, organoléptico, que se puede determinar con una cartilla de colores propios del fruto a evaluar, o con un colorímetro. (Gergoff, 2016).



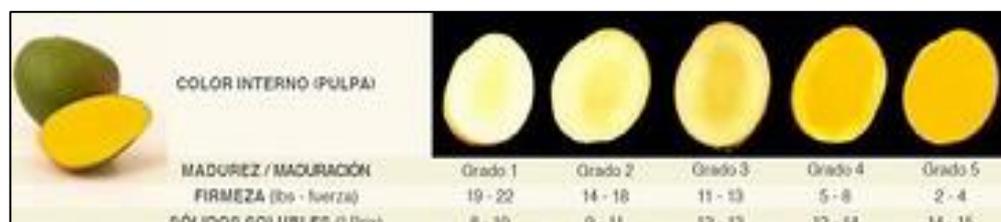
*Figura 2. Colorimetría externa de la piel del mango.*

*Fuente:* <http://yummybites.blogspot.pe/2006/12/fruits-maturity-indices.html>

### 2.2.2. Color interno de la pulpa.

Es uno de los indicadores más confiables para determinar el grado de madurez de cosecha para el consumo. El mango inmaduro tendrá pulpa de color blanco o amarillo muy pálido, el color amarillo de la pulpa empieza a desarrollarse desde la semilla hacia afuera (Encalada, 2017).

El cambio de color se debe a un aumento de pigmentos en la pulpa del mango conforme avanza la maduración del fruto, el cambio de color empieza desde la pulpa que está pegada a la semilla hacia afuera. Para medir el color se rebana el fruto y se hace una inspección visual mediante una cartilla de los grados de color del fruto conforme avanza la maduración, o también con el instrumento colorímetro (Gergoff, 2016).



*Figura 3. Grados de color de la pulpa de mango.*

*Fuente:* <https://consaboraveracruz.weebly.com/blog-csv/el-mango-en-veracruz-y-mexico>

### **2.2.3. Firmeza.**

La firmeza disminuye a medida que la fruta madura, ya que la pulpa se ablanda; esta cualidad de la pulpa se debe principalmente al contenido de pectinas, y al espesor de las paredes celulares. El resultado depende de muchas variables no solo condiciones intrínsecas y extrínsecas del fruto, como tamaño, grado de madurez o condiciones ambientales en la cosecha, sino también de los parámetros del instrumento a usar (Gergoff, 2016).

Es un parámetro físico que se determina con instrumentos como los penetrómetros o presionómetros que miden la presión o resistencia requerida, en donde se empuja un punzón con diámetro conocido en la pulpa del fruto (Bosquez, 2017).

### **2.2.4. Contenido de sólidos solubles totales**

Los azúcares constituyen gran parte de los sólidos solubles presentes en el jugo de las frutas es por ello que su análisis es un buen indicador de la madurez del fruto (Gergoff, 2016).

Las frutas también contienen otros sólidos solubles además de la sacarosa, como los azúcares, componentes fenólicos, ácidos orgánicos, y aminoácidos por lo que es más frecuente determinar el contenido total de éstos en porcentaje. Generalmente se consideran a los grados brix como equivalentes de los sólidos solubles totales (SST) porque el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares. Este método químico representa el porcentaje de sacarosa en el jugo del fruto (Bosquez, 2017).

Fonseca et al. (2012) afirman que los grados brix aumentan hasta que el almidón se hidroliza completamente y luego decrecen por efecto de la respiración.

Se utiliza un refractómetro o brixómetro para determinar °Brix, el cual puede ser digital o analógico; la determinación consiste en poner una gota del jugo del fruto y se observa una escala graduada en grados brix, si 1°Bx equivale a 1g de sólido soluble por cada 100 gramas de solución (Gergoff, 2016).

#### **2.2.5. Determinación de la acidez titulable**

La acidez titulable representa los ácidos orgánicos libres presentes en el fruto, generalmente estos ácidos están en forma libre o combinada como sales, esterres, etc., en la vacuola de la célula (Bosquez, 2017). Para la medición se extrae el jugo del fruto, se realizan diluciones, se añade el indicador, y se realiza la titulación con alguna base fuerte generalmente NaOH hasta que aparezca una tonalidad rosada, el punto final también se puede determinar por pH con un potenciómetro (Gergoff, 2016).

Para reportar la acidez, se considera el ácido orgánico más abundante o dominante del producto vegetal. La acidez y los SST forman una relación para determinar el índice de madurez (Bosquez, 2017).

La acidez total titulable disminuye conforme aumenta la maduración del fruto, debido a la actividad de las deshidrogenasas y a que los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos de la respiración para la síntesis de nuevos componentes durante la maduración de los frutos (Fonseca et al., 2012). Para los procesos IQF el mango fresco generalmente tiene 13°Brix y 0.6% de acidez (Encalada, 2017).

### **2.3. Principales variedades de mango en Perú**

Existen numerosas variedades de mango, y diferentes formas de clasificarlas ya sea por tamaño, color, u otra característica del fruto; pero en el Perú se cultivan dos tipos de plantas de mango: las plantas francas (poliembriónicas), como la variedad

de mango criollo y rosado; y las plantas mejoradas (monoembriónicas) como la variedad de mango Kent y Edward, cuya cosecha se da entre los meses de diciembre a marzo, la producción nacional de estas dos variedades está centralizada en la costa y norte del Perú (Encalada, 2017).

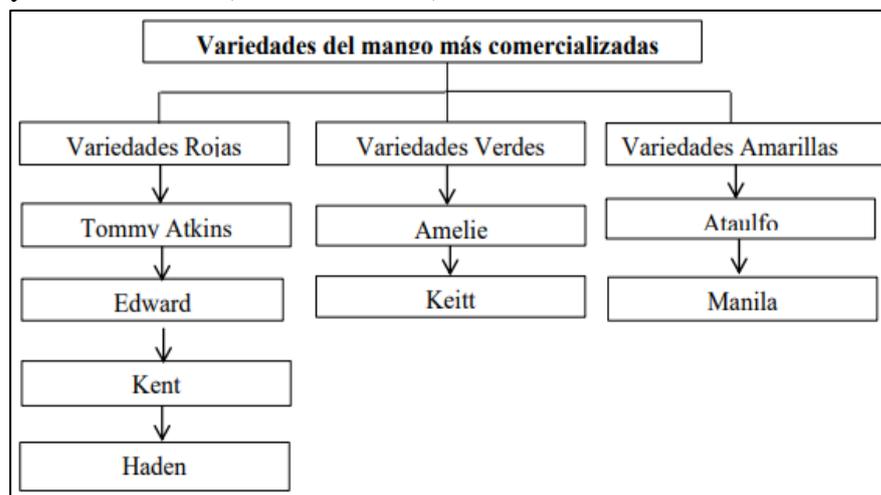


Figura 4. Variedades de mango más comercializadas en Perú.

Fuente: Encalada, 2017.

Las dos variedades explicadas a continuación pertenecen a las variedades rojas de mango, cuyo volumen de producción para ser exportadas supera al resto de variedades en el Perú. Siendo la variedad Kent en estado fresco más comercial en exportación, correspondiéndole aprox. 82% de lo sembrado y 88% del volumen exportado, le sigue las variedades Haden, Tommy Atkins y Edward (Guerrero et al., 2012).

### 2.3.1. Mango Kent.

Es una de las variedades más usadas a nivel mundial debido a sus características de gran tamaño, de 12 a 18 cm, y de gran peso, aproximadamente de 500g a 800g. Tiene un color rojo amarillo verdoso al inicio, pero maduro es con chapa rojiza, tiene forma ovalada orbicular, sabor agradable, jugoso, y de poca fibrosidad (Guerrero et al. 2012).



*Figura 5. Mango Kent.*

*Fuente:* <http://www.elhuertodedongogo.com/frutas/>

### **2.3.2. Mango Edward.**

Generalmente tiene tamaño mediano o grande, con forma ovoide, su peso varía de 453g a 623g, y mide de 13 cm a más de longitud; en la parte externa del mango posee poca cera, y es de color amarillento sobre rojo, con muy pequeñas manchas (lenticelas) blancas. La pulpa de la fruta es tierna, sin fibra y jugosa, rica en dulce y calidad de muy buena e excelente e insuperable sabor. (Encalada, 2017).



*Figura 6. Mango Edward.*

*Fuente:* <http://www.elhuertodedongogo.com/frutas/>

## **2.4. Subproductos del aprovechamiento industrial del mango**

En el aprovechamiento industrial del mango, la pulpa es lo más utilizado del fruto a gran escala; en el mercado actual encontramos a la pulpa del mango en diversas presentaciones, no solo en su estado natural sino también en forma de cubos congelados, deshidratado, jugos, néctar, jaleas, entre otros (Guerrero et al. 2012). El problema de la transformación del mango es el alto desperdicio que se genera en el proceso (40% aproximadamente), es decir los subproductos como cáscara y semilla. Donde el valor agregado que se le da generalmente es usarlo solo para

compostaje y lombricultura (Rodríguez, 2014). Teniendo en cuenta que se comercializan 1.2 millones de toneladas anuales de mango aproximadamente en todo el mundo, y el aporte de Perú es de 14000 toneladas por año que comercializa (Jahurul et al., 2014).

En el mango hay tres partes de interés: la pulpa, la cáscara y la semilla. La cáscara constituye aproximadamente entre el 15-20% de la fruta, mientras que las semillas representan del 10-50% del peso de la fruta entera, dependiendo de la variedad de mango; y la almendra al interior de la semilla del 45-75% de la semilla entera (Culebro, 2017).

La semilla del mango junto con la cáscara se desechan en el proceso industrial a gran escala, incrementando la contaminación ambiental debido a las altas concentraciones de compuestos fenólicos residuales que contienen estos subproductos (y el alto costo que representa su tratamiento), además de que no se le da una adecuada disposición, y por ende pueden tener efectos ambientales perjudiciales, principalmente debido a que estos compuestos podrían inhibir la germinación de las semillas (Culebro, 2017).

Sin embargo de entre todos los subproductos, la composición lipídica de la almendra que se encuentra dentro de la semilla de mango ha atraído gran interés ya que al extraer el aceite de la semilla del mango este subproducto podría utilizarse para obtener un producto valioso (Sikdar et al. 2017).

Actualmente se estudian alternativas para el uso de la semilla y la piel, ya que tienen varios constituyentes de interés como su alto contenido de aceite, minerales, fibra, vitaminas, carbohidratos y proteínas. La cáscara o piel del mango puede ser utilizada en la extracción de pectinas, producción de biogás, o también para la elaboración de harinas en panificación y galletería; mientras que la semilla se le

puede usar para la extracción de aceite empleado en la confitería, y también para la obtención de antioxidantes naturales (Rodríguez, 2014).

## 2.5. Semilla de mango

Según Barbosa (2012) la semilla del mango tiene forma oblonga, ovoide, o alargada, de acuerdo a la variedad, y en el exterior se encuentra recubierta por un endocarpio fibroso. Posee testa y tegumento delgados, y está constituida en su mayor parte por los cotiledones, además de contener una almendra en su interior, también conocida como “embrión”.

Criollamente la semilla de mango es conocida como pepa o hueso de mango, y son pocos los que conocen acerca de la almendra que la semilla contiene en su interior, la cual se usa para la plantación del mango; algunas investigaciones además le dan el nombre de “semilla” a la almendra de mango, lo cual no es lo adecuado, porque generan confusión entre los investigadores; ya que la semilla está representada por una capa gruesa que cubre la almendra blanca, y la almendra es la que contiene la gran cantidad de nutrientes que le dan valor a la semilla; a continuación se relatan la características de la almendra de la semilla de mango. Fahimdanesh & Bahrami (2013) relatan que según la variedad de mango, la semilla representa del 9%-25% del peso total de la fruta, y que la almendra dentro de la semilla representa del 45%-75% de la semilla y alrededor del 20% de la fruta entera.



*Figura 7. Semilla de mango abierta y dividida.  
Fuente: Sikdar et al., 2017.*

### 2.5.1. Partes de la semilla de mango

- **Envoltura externa o endocarpio:** Son fibras longitudinales que se van hacia la pulpa del mango, y sirve para determinar la calidad del mango visualmente.
- **Testa:** Tejido coriáceo, delgado, que está unido al endocarpio en la parte interna.
- **Tegumento:** Envuelve los cotiledones, siendo más grueso a comparación de la testa.
- **Cotiledones:** Parte de la semilla que está dividida en secciones en la cual se localizan los embriones sexuales y los embriones nucleares.

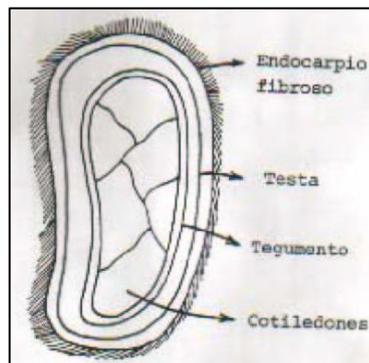


Figura 8. Capas externas que rodean la almendra de mango.

Fuente: <http://agrosextos.blogspot.com/>

### 2.5.2. Usos de la almendra de semilla de mango

Rojas & Burbano (2011) narran tres tipos de usos que se le puede dar a la almendra de semilla del mango, generalmente es conocida porque la usan para sembrar nuevas plantaciones de mango, pero también se puede utilizar en otras formas que le dan mayor un valor agregado:

- La almendra de semilla de mango es una fuente de aceite o grasa comestible, que se usa como sustituto de la manteca de cacao, y también se puede usar en la industria cosmética y de jabones.

- Se puede extraer galotanina de la almendra de semilla del mango, es una sustancia polifenol que ayuda en la flora microbiana en el intestino delgado, ya que tiene propiedades antibacteriales.
- Y por último, se puede usar las semillas para alimentación animal, debido a su contenido en proteínas, aunque aún no se ha patentado un producto a base de semilla de mango, existen algunos ganaderos que lo vienen practicando.

### 2.5.3. Composición en la almendra de semilla de mango

Generalmente las semillas oleaginosas están compuestas de cuerpos lipídicos y proteicos, las cantidades varían de acuerdo al tipo de la semilla. La almendra de semilla de mango almacena principalmente carbohidratos, lípidos, taninos, proteínas, y almidones (amilosa y amilopectina), los cuales son los carbohidratos más abundantes en las semillas. Pueden ser monoembrionicas o poliembrionicas dependiendo de la formación de uno o más embriones durante el proceso de fecundación (López, 2013). Como se puede visualizar en la tabla de abajo, la tabla 2.

Tabla 2.  
*Composición proximal de la almendra de semilla de mango (Mangifera indica L.)*

<b>Composición</b>	<b>% Base Seca</b>
Proteína cruda	10.06 ± 0.12
Aceite crudo	14.80 ± 0.13
Cenizas	2.62 ± 0.025
Fibra cruda	2.40 ± 0.01
Carbohidratos	70.12 ± 1.34
Contenido energético	453.92 ± 4.32 kJ/100 g

*Fuente:* Fowomola, 2010.

La composición lipídica de la almendra de semilla del mango ha atraído la atención de los científicos en los últimos años debido a sus características físicas y químicas, ya que presenta un alto contenido de compuestos fenólicos

y una actividad antioxidante superior a la de la pulpa (Fahimdanesh & Bahrami, 2013).

Mahale & Goswami-Giri (2011) afirman que la almendra de semilla de mango contiene entre el 10 al 13% aproximadamente de aceite. Este aceite es también denominado grasa ya que es semi-sólida a temperatura ambiente, de color amarillo claro, y similar al karité.

La almendra de semilla tiene poca metionina pero mayor cantidad de glutamato, y también en el grupo de los aminoácidos esenciales de la semilla de mango, tiene mayor cantidad de leucina, seguido de la arginina (Fowomola, 2010).

Tabla 3.

*Perfil de aminoácidos de la semilla de mango (g/100g de proteína).*

<b>Aminoácidos</b>	<b>Cantidad (g/100 g de proteína)</b>
Lisina	3.13
Alanina	6.40
Histidina	2.31
Cisteína	2.30
Arginina	5.17
Valina	3.80
Aspartato	6.33
Metionina	1.04
Treonina	2.04
Isoleucina	3.23
Serina	2.93
Leucina	8.40
Glutamato	13.00
Tirosina	3.17
Pirolina	3.00
Glicina	3.50
Fanilalanina	4.46

*Fuente:* Fowomola, 2010.

En la siguiente tabla 4, se aprecia la cantidad y tipo de vitaminas en la almendra de semilla de mango, la vitamina A, C, y E, dándole otro uso como fuente de vitaminas, las que son antioxidantes, por ende son útiles en la disminución de procesos oxidativos (Fowomola, 2010).

Tabla 4.  
*Vitaminas en la almendra de mango (Mangifera indica L.) en mg por cada 100g.*

Vitaminas	Cantidad (mg/100 g)
A	15.27 (UI)
E	1.30
K	0.59
B <sub>1</sub>	0.08
B <sub>2</sub>	0.03
B <sub>6</sub>	0.19
B <sub>12</sub>	0.12
C	0.56

*Fuente:* Fowomola, 2010.

Así también Fowomola (2010) estudió el contenido de minerales en la semilla de mango, encontrándose que es rica en magnesio y calcio.

Tabla 5.  
*Minerales en la semilla de mango (Mangifera indica L.)*

Minerales	Cantidad (mg/100 g)
Na	21.0
K	22.3
Ca	111.3
Mg	94.8
Fe	11.9
Zn	1.10
Mn	0.04

*Fuente:* Fowomola, 2010.

En cuanto a los ácidos grasos presentes en la almendra de semilla de mango predominan el ácido oleico, esteárico y palmítico, representando entre los tres un 85% del total (Solís & Durán, 2011). El aceite de la almendra de semilla de mango contiene altas cantidades de ácidos grasos no saturados, en mayor porcentaje el oleico, estos son importantes para las reacciones químicas que se presentan en los dobles enlaces ayudando en la determinación de la estabilidad de los aceites (Kittiphoom & Sutasinee, 2013).

## 2.6. Aceites y grasas vegetales

Se denominan aceites y grasa vegetales a aquellos aceites extraídos con semillas o frutos oleaginosos; son ricos en nutrientes, tienen un sabor, olor, color y viscosidad

particular propio del fruto o semilla, generalmente son comestibles (Alberca & Huanca, 2015).

El consumo de aceites y grasas vegetales a partir de semillas ha aumentado con el pasar del tiempo, constituye el 70% de la producción mundial del aceite, debido a su práctico uso en la actividad culinaria y a su composición, ya que los aceites o grasa vegetales, en su gran mayoría, constituyen un buen aporte de ácidos grasos omega-6 (principalmente ácido linoleico) (Culebro, 2017).

### **2.6.1. Composición química.**

La composición química de los aceites no es igual o única para todos, ya que cada aceite tiene diferente aporte de ácidos grasos saturados, mono insaturados y poli insaturados, especialmente en la aportación de ácidos grasos omega-6 y omega-3 (Culebro, 2017).

Según Alberca & Huanca (2015) se clasifican en mayoritarios, minoritarios, fenólicos y volátiles los cuales se detallan a continuación:

#### **2.6.1.1. Componentes mayoritarios.**

Se encuentran los acilglicéridos, que son ésteres de ácidos grasos con glicerol, y según la molécula de glicerina se dividen en tres tipos: monoacilglicéridos, diacilglicéridos, y triacilglicéridos. Los ácidos grasos son los componentes con más importancia en un aceite o grasa, se clasifican en saturado, mono insaturado y poliinsaturado. Estos están implicados en la oxidación y se determinan con un análisis de cromatografía de gases. Su estructura se basa en una cadena de átomo de carbono e hidrógeno unidos con enlaces simples o dobles, y en un extremo el grupo carboxilo (Alberca & Huanca, 2015).

#### **2.6.1.2. Componentes minoritarios.**

Los componentes minoritarios de un aceite tienen beneficios para la salud, y dentro de este grupo se encuentran los isoprenoides, que están formados por isopropeno, los que a la vez se subdividen en isoprenoides mixtos, esteroides y terpenos. En el grupo de los isoprenoides mixtos está formado por los tocoferoles, derivados de la vitamina E, que son antioxidantes naturales. Los esteroides tienen estructura parecida al colesterol de origen animal, y se encuentra en los productos de origen vegetal, ya sea semillas, hojas, tallos, entre otros. Y por último, los terpenos con propiedades antioxidantes que protegen a las células de agentes oxidantes como los radicales libres (Alberca & Huanca, 2015).

#### **2.6.1.3. Componentes fenólicos.**

Los componentes fenólicos se caracterizan por que se encuentran en las plantas, son antioxidantes, y tienen un anillo aromático central, en este grupo se encuentran los flavonoides y los pigmentos. Los flavonoides son el grupo más grande de fenoles naturales, participan en la fotosíntesis, y además tienen bajo peso molecular. Los pigmentos de origen vegetal tienen dos grupos liposolubles donde se encuentran los pigmentos más conocidos, la clorofila y los carotenoides, los responsables de la actividad antioxidante. En el aceite existen los ácidos fenólicos, que son el ácido gálico, el ácido cafeico, el ácido cumárico, entre otros (Alberca & Huanca, 2015).

#### **2.6.1.4. Componentes volátiles.**

Los componentes volátiles le otorgan el aroma y flavor a los aceites, se caracterizan por tener bajo peso molecular, y que se encuentren en

mínimas cantidades. En los aceites se encuentran compuestos tales como alcoholes, aldehídos, esterres y éteres, que aumentan conforme se acelere la actividad enzimática en la materia prima (Alberca & Huanca, 2015).

### **2.6.2. Propiedades antioxidantes.**

Como se había mencionado en el ítem anterior, los componentes minoritarios y fenólicos en un aceite son los causantes del poder antioxidante en este, es decir, los tocoferoles, polifenoles, entre otros ácidos fenólicos (Alberca & Huanca, 2015).

El contenido de polifenoles en el aceite es proporcional a la estabilidad oxidativa estimada en el equipo Rancimat, pero el contenido varía de acuerdo al método en el proceso de extracción y conservación, ya que en los procesos de refinado suelen perderse estas sustancias que son muy importantes y beneficiosas para el cuerpo humano, debido a que ayudan en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares. En general, el contenido de sustancias fenólicas es mayor en los aceites de calidad (Pastrana, 2016).

Las sustancias antioxidantes en el aceite son muy beneficiosas porque ayudan a prevenir el envejecimiento celular, combatiendo a los radicales libres y bloqueando las reacciones de oxidación causados por estos. Los radicales libres se pueden formar por radiaciones ionizantes, estrés, pesticidas, entre otros factores (Pastrana, 2016).

En los aceites más conocidos como el aceite de girasol encontramos al ácido clorogénico, y el cafeico como fenoles; en el aceite de oliva, soja, y maíz se encuentran en mayor proporción los tocoferoles. El aceite de oliva incluye además al tirosol, hidroxibenzoico, ácido cafeico, y ácido vainillico como

compuestos fenólicos. Y generalmente, los aceites comerciales no refinados contienen  $\beta$  – carotenos como antioxidantes (Casanovas, 2012).

### **2.6.3. Extracción por prensado en frío.**

Existen diversos métodos para la extracción de aceite vegetal ya sean mecánicos o químicos, o la combinación de ambas técnicas; pero el método prensado en frío que ha demostrado ser rentable y adecuado para la extracción ya que no altera la naturaleza del aceite (Rodríguez, 2014).

El método consiste en romper las estructuras del grano o semilla liberando la materia grasa presente, su eficiencia es menor comparada a los métodos químicos ya que el aceite se queda en la torta que sale como residuo (Rodríguez, 2014).

El grano se tritura con un diámetro específico generalmente menor de  $< 1.4\text{mm}$ , el tornillo al interior del equipo genera una presión que rompe la estructura del grano, y con el aumento de temperatura, no mayor a  $60^{\circ}\text{C}$ , origina el desprendimiento del aceite y la torta residual en la extracción (Culebro, 2017).

### **2.6.4. Diferencia entre el aceite vegetal virgen y refinado.**

El aceite vegetal virgen conserva el sabor de la semilla o fruta de donde se extrae. Los principales aceites más comercializados de esta categoría son el aceite de oliva y de los frutos secos como almendras, avellanas, etc. (Rojas & Burbano, 2011). Generalmente para estos aceites se realiza la extracción con métodos no corrosivos con la semilla o fruta como son el método de prensado en frío, además debido a la presencia de ácidos grasos libres en su composición presentan valores de acidez entre  $1^{\circ}$  y  $1.5^{\circ}$  (Alberca & Huanca, 2015).

En cambio, los aceites refinados pasan por un proceso de desodorizado y refinado para obtener un aceite visualmente limpio, es decir

organolépticamente apto, con sabor neutro, homogéneo color y libre de impurezas, además esta técnica permite una mejor conservación del aceite. Generalmente este proceso se utiliza para modificar aceites que no son aptos para el consumo humano (Rojas & Burbano, 2011). La refinación industrial hace que se pierda gran parte de los nutrientes en el aceite, ya que la matriz lipídica sufre de isomerización cis-trans perdiendo el valor nutricional y las características particulares propias de la semilla oleaginosa de donde se extrajo el aceite, como color y aroma (Alberca & Huanca, 2015).

#### **2.6.5. Aceite de almendra de mango.**

El aceite de almendra de mango es un aceite comestible presente en el núcleo de la semilla de mango. También se le puede llamar grasa ya que suele ser semisólido a temperatura ambiente. El color es amarillo pálido probablemente a la baja cantidad de carotenoides. Tiene su aplicación en la industria cosmética, farmacéutica y la de alimentos, debido a la alta presencia de antioxidantes. El aceite se puede extraer mediante prensa hidráulica, extracción con solventes, o extracción en frío (Sikdar et al. 2017). La torta residual que se origina en la extracción del aceite de almendra de mango puede servir para alimentación animal o puede ser aprovechada como biomasa para dar energía. Fahimdanesh & Bahrami (2013) relatan que el aceite de almendra de mango no es tóxico, y está libre de cualquier compuesto tóxico como el ácido cianhídrico, por el contrario es comestible y nutritivo, por lo que podría sustituir a cualquier grasa sin efectos adversos, ya que en su composición es rica en ácidos grasos como el esteárico y el oleico.

La grasa de semilla de mango es una de las seis grasas tropicales permitidas que pueden reemplazar parcialmente a la manteca de cacao en la elaboración de

chocolate. Su perfil de lípidos le hace tener un potencial de comercialización importante y obtenerse recursos económicos de un desperdicio agroindustrial (Tapia et al., 2013).

Debido a las características fisicoquímicas y químicas del aceite de almendra de mango, como su temperatura de fusión, puede ser sustituto de la manteca de cacao para la elaboración de coberturas y rellenos de chocolate (Rodríguez, 2014). En el año 2000 la Comunidad Europea promulgó la ley de pureza de chocolate que permite a la industria chocolatera la adición a sus productos de hasta un 5% de otro tipo de grasa (Tapia et al., 2013).

## **2.7. Características fisicoquímicas del aceite**

### **2.7.1. Densidad relativa.**

Aunque la densidad no es un factor determinante de la calidad pero puede variar en cuanto a la oxidación o polimerización del aceite. La densidad relativa está relacionada con la densidad del agua, relacionando peso del agua con el peso del material a usar, la densidad del aceite es menor que la densidad del agua; en aceites se puede determinar por el método del picnómetro o mediante el uso de un potenciómetro. La densidad de los componentes mayoritarios del aceite como los glicéridos y ácidos grasos, aumenta conforme disminuye su peso molecular y aumenta su grado de insaturación (Tapia et al., 2013).

### **2.7.2. Índice de refracción.**

Este análisis determina la pureza del aceite, y se define como el grado de desviación que padece un haz de luz al pasar por un medio, para esta investigación el medio es aceite. Ayuda a determinar cuantitativamente y

cualitativamente los ácidos grasos saturados, si resulta elevado, quiere decir que la grasa tiende a solidificarse y es más turbia (Rojas & Burbano, 2011).

### **2.7.3. Índice de acidez.**

La acidez en un aceite o grasa se define como porcentaje de ácidos grasos libres expresados en porcentaje de ácido oleico, y es una medida del deterioro de la grasa o aceite por hidrólisis química o enzimática (Culebro, 2017).

Es uno de los parámetros que definen la calidad del aceite, ya que está ligado a la alteración sufrida por la semilla y a las hidrólisis de glicéridos habidas en el proceso de extracción y conservación. Los ácidos grasos se liberan por una ruptura de las moléculas de los triglicéridos a través de sus enlaces éster con la glicerina (Pastrana, 2016).

### **2.7.4. Índice de peróxidos.**

Indica el estado de oxidación inicial del aceite permitiendo detectar la oxidación antes que se note organolépticamente, a mayor índice de peróxido el aceite se oxidará más fácilmente (Rojas & Burbano, 2011).

Mide la cantidad de hidroperóxidos presentes en el aceite, los que se forman debido a mala conservación, inadecuado recipiente, contacto con la luz, calor, aireación, metales, entre otros. Los hidroperóxidos evolucionan rápidamente a compuestos carboxilados volátiles (aldehídos, cetonas, etc.) los que son responsables de la pérdida de calidad en el aceite (Pastrana, 2016).

El valor de peróxido es la medida de la rancidez oxidativa de los productos grasos del aceite. La rancidez oxidativa implica reacciones químicas provocadas por la adición de oxígeno a través de los dobles enlaces en los ácidos grasos insaturados en presencia de enzimas o ciertos agentes químicos. El índice de peróxidos se expresa en la cantidad de mili equivalentes de

oxígeno necesarios para ocasionar la oxidación del ion yoduro por hidroperóxidos (Culebro, 2017).

#### **2.7.5. Índice de yodo.**

Es una medida del grado de insaturación de los componentes de un aceite o grasa, aumenta conforme la cantidad de dobles enlaces por unidad de grasa. Esta prueba se usa para comprobar si un aceite es puro (Rojas & Burbano, 2011).

Los glicéridos de los ácidos grasos no saturados se unen con una cantidad definida de halógeno, es por ello que el índice de yodo es una medida del grado de insaturación. El valor que se obtenga en el análisis depende de la técnica que se utilice, ya que se puede determinar con el método Wijs o Hanus (Tapia et al., 2013).

#### **2.7.6. Índice de anisidina.**

Es un indicador de la segunda oxidación del aceite, es decir mide los productos secundarios originados de la descomposición de los hidroperóxidos, como los aldehídos 2-alquénales y 2,4-dialquénales con dobles enlaces conjugados, los que originan cambios de color en el aceite, debido a es un indicador del deterioro excesivo del aceite en el proceso de fritura profunda. Se mide por espectrometría luego de agregar los reactivos respectivos del método a 350nm (Lamas, 2014).

#### **2.7.7. Valor TOTOX.**

El Valor de Oxidación Total o más conocido como TOTOX por sus siglas en inglés, está manifestado como una ecuación matemática siendo el doble del índice de peróxidos más el índice de anisidina. Es un excelente indicador de la historia de oxidación del aceite, y garantiza el grado actual de oxidación en el

aceite, ya que conforme avance la rancidez del aceite los peróxidos disminuyen pero aparecen otros compuestos secundarios volátiles, es por ello que solo determinar peróxidos no garantiza determinan el estado de oxidación del aceite (Lamas, 2014).

## **2.8. Estabilidad oxidativa del aceite**

El término estabilidad oxidativa hace referencia a la susceptibilidad de un aceite a su oxidación, en otras palabras es la resistencia de la matriz lipídica del aceite a la oxidación; de tal forma que cuanto más susceptible es un aceite a la oxidación, menor será su estabilidad oxidativa y menor la duración de su vida útil. Este es un principio de la calidad de cualquier aceite o grasa (Mata, 2017).

La reacción inicial de degradación en los aceites y grasas es la oxidación, o también denominada rancidez, la cual es la causa principal del deterioro o pérdida de la calidad en los aceites y grasas debido a condiciones como temperatura, luz, oxígeno, metales, entre otros (Mata, 2017).

La rancidez oxidativa, también conocida como el fenómeno de auto-oxidación, es uno de los principales factores que alteran la vida útil de los aceites o grasas. Es acerca de la interacción de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados de la muestra, con el oxígeno atmosférico. Esta reacción origina productos primarios en la oxidación (hidroperóxidos y peróxidos), los cuales a partir de diversas reacciones producen los compuestos secundarios, ya sean estos volátiles, como los ácidos, cetonas o aldehídos, o no volátiles como los dímeros, trímeros y polímeros; los cuales son responsables de olores y sabores desagradables en el aceite, y hacen que descienda los componentes nutritivos del aceite, ya que se pierden algunas vitaminas y ácidos poliinsaturados (Alberca & Huanca, 2015). Por lo tanto, es esencial determinar la estabilidad oxidativa para conocer el comportamiento a

futuro del aceite o grasa, para ello es necesario aplicar un método rápido y eficaz, es por eso que se detalla a continuación el siguiente método usado en esta investigación.

### **2.8.1. Método Rancimat.**

Este método de determinación de vida útil en aceites y grasas es el más utilizado, y se basa en calentar con altas temperaturas las muestras de aceite o grasa, aplicando un flujo de aire seco que hace burbujear la muestra (Alberca & Huanca, 2015).

La estabilidad oxidativa es monitoreada a través de la medición computarizada de los cambios de conductividad eléctrica del agua destilada, donde se retienen y se disuelven los componentes volátiles (ácido fórmico) generados durante la oxidación de los lípidos. El tiempo (en horas) que transcurre desde el inicio de la prueba hasta obtener el valor máximo de la conductividad eléctrica es una medida del periodo de inducción de la reacción y se denomina Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI). El período de inducción corresponde al punto de inflexión de la curva de la reacción de oxidación (Conductividad vs Tiempo) cuando se produce un aumento brusco de la conductividad eléctrica (Alberca & Huanca, 2015).

Este método es muy beneficioso y útil para la comercialización de los aceites ya que a través de él se determina el tiempo que pueden permanecer almacenados sin que pierdan sus propiedades o adquieran olores y sabores desagradables (Mata, 2017).

También existe otra manera de determinar la vida útil en un aceite o grasa, consiste en almacenar el aceite o grasa a temperatura ambiente hasta la degradación del mismo con el fin de obtener la estabilidad oxidativa, pero es

un proceso que conlleva demasiado tiempo ya que las reacciones de oxidación generalmente tienen periodos largos de inducción (Mata, 2017).

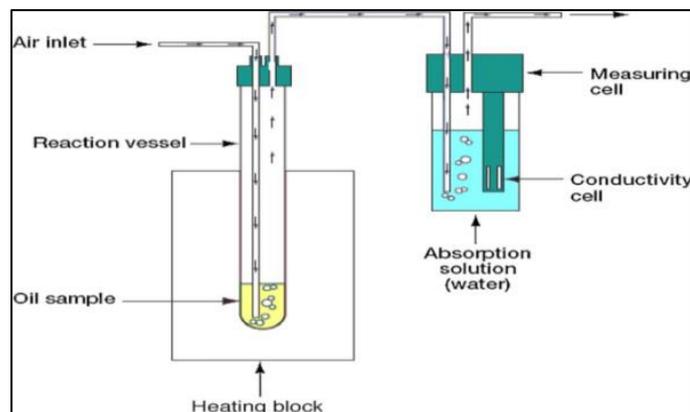


Figura 9. Método Rancimat.

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/-the-Rancimat-test-Jain\\_fig2\\_263543689](https://www.researchgate.net/figure/-the-Rancimat-test-Jain_fig2_263543689)

### 2.8.2. Relación entre la estabilidad oxidativa y la temperatura.

Existe una relación matemática entre la estabilidad oxidativa (OSI), y las temperaturas usadas en el equipo Rancimat, la cual está descrita por Villanueva et al. (2013) según las investigaciones realizadas por el equipo, consiste en aplicar la siguiente ecuación para calcular los valores OSI a diversas temperaturas, para lo cual se aplica interpolación o extrapolación:

$$\text{Log(OSI)} = AT + B$$

$$\text{OSI} = 10^{AT+B}$$

**Donde:**

**A:** Coeficiente de temperatura, calculado de la pendiente de las rectas logaritmo decimal de OSI vs Temperatura.

**B:** Valor empírico sin significancia física.

También se aplica la siguiente fórmula para calcular el error asociado a la extrapolación, usando la siguiente ecuación diferencial, que consiste en la suma de las derivadas parciales de cada uno de los términos:

$$\delta \text{OSI} = \left( \frac{\delta \text{OSI}}{\delta T} \right)_{A,B} \delta T + \left( \frac{\delta \text{OSI}}{\delta A} \right)_{T,B} \delta A + \left( \frac{\delta \text{OSI}}{\delta B} \right)_{T,A} \delta B$$

$$\delta OSI = \ln 10 \times (10^{A+T+B}) \times (A\delta T + T\delta A + \delta B)$$

**Donde:**

**$\delta OSI$ :** Error de extrapolación.

**$\delta A, \delta B$ :** Estándares de los coeficientes A y B los que se obtienen por el cálculo de los mínimos cuadrados.

### 2.8.3. Relación entre el índice de estabilidad oxidativa y la energía de activación.

Villanueva et al. (2013) otorga las siguientes ecuaciones que establecen una relación entre la estabilidad oxidativa (OSI) y la energía de activación, a raíz de la siguiente ecuación que se establece en base a la consideración de que la adición de los radicales de oxígeno a los dobles enlaces de los ácidos grasos siguen cinéticas de primer orden:

$$\alpha = \frac{x}{a_0 - x}$$

**Donde:**

$\alpha$ : Grado de transformación de las moléculas.

$a_0$ : Las instauraciones iniciales.

$x$ : Formación de los productos secundarios de la oxidación.

Integrando la ecuación resulta lo siguiente:

$$\int_{\alpha=\alpha_0}^{\alpha=\alpha^*} \frac{d\alpha}{1-\alpha} = \int_{t=t_0}^{t=t^*} dt$$

**Donde:**

$\alpha^*$ : Grado de transformación para un tiempo de inducción  $t^*$

Resolviendo la integral se obtiene lo siguiente:

$$-\ln(1 - \alpha^*) = Kt$$

Definiendo  $t^*$  como OSI y resolviendo se obtiene la siguiente ecuación:

$$OSI = \frac{-\ln(1 - \alpha^*)}{K}$$

Se establece una relación entre la constante “K” y la temperatura termodinámica usando la ecuación de Arrhenius:

$$K = Z e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

**Donde:**

Z: Factor pre – exponencial de la ecuación de Arrhenius.

R: Constante universal de los gases.

Ea: Energía de activación.

Sustituyendo y aplicando el logaritmo se obtiene la siguiente ecuación final:

$$\ln(\text{OSI}) = \ln\left(\frac{-\ln(1 - \alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

## 2.9. Cromatografía de gases en aceites vegetales

Es un método físico para determinar el perfil lipídico en aceites y grasas; ayuda a conocer, determinar y cuantificar los ácidos grasos en la composición de una mezcla usando el equipo cromatógrafo de gases. Esto es muy importante comercialmente ya que sirve como indicador de la calidad del aceite, detectando compuestos clandestinos en los aceites como los antioxidantes, también componentes usados como diluyentes (Medina, 2014).

Este método ha sido aplicado desde la década de los setenta, consiste en separar los elementos de una mezcla química, entre una fase que fluye (móvil/gas de arrastre) y una fase estacionaria que está sujeta a un soporte líquido. La muestra primero se vaporiza, y luego se inyecta en la cabeza de la columna. A diferencia de los otros métodos de cromatografía el gas de arrastre no interactúa con las moléculas a separar, solo transporta los compuestos en toda la columna (Medina, 2014).

Los principales componentes son: fuentes de gas, controladoras de flujo, sistema de inyección, horno y columna cromatografía, detectoras, y sistema de registro.

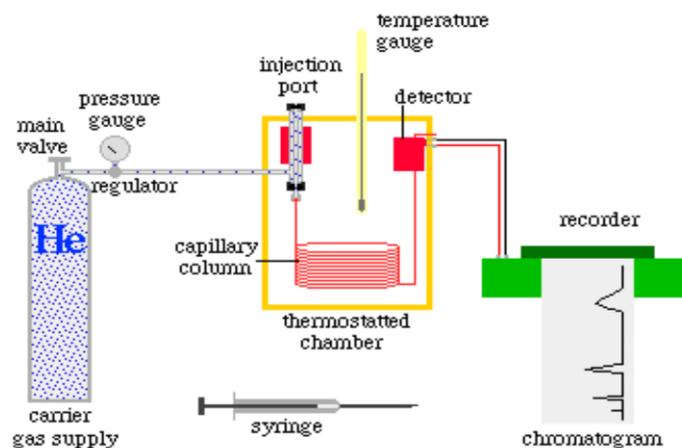


Figura 10. Esquema general de un cromatógrafo de gases.

Fuente: Medina, 2014.

La elección de los componentes del cromatógrafo depende de la naturaleza de la muestra a analizar, ya sea su peso molecular, la pureza, entre otros; además de los principales componentes en el equipo hay otros conceptos cromatográficos que son necesarios conocer, Medina (2014) en su trabajo de investigación aporta las siguientes definiciones:

- ❖ **Gas de acarreo:** Transporta los componentes volátiles de la muestra, en este caso aceite, a la columna, el cual debe ser químicamente inerte y puro, y no debe reaccionar con la muestra ni tampoco con la fase estacionaria. Los más utilizados son helio, nitrógeno, hidrógeno o una mezcla argón con metano.
- ❖ **Tiempo de retención:** Está definido como el tiempo que pasa después de la inyección de la muestra en la columna hasta que el pico de concentración del analito alcance el detector.
- ❖ **Línea de base:** Parte del registro que pertenece a la fase móvil pura (gas portador).
- ❖ **Tiempo cero:** El tiempo cero o tiempo muerto, es el tiempo de retención del componente inerte o gas portador.

- ❖ **Área del pico:** Está comprendida entre el pico y la prolongación de la línea de base. Para dar con el valor de este importante parámetro, se dedican los dispositivos integradores en los picos del cromatograma.
- ❖ **Índice de retención:** Es un número obtenido por una interpolación logarítmica, que relaciona el tiempo de retención ajustado de un compuesto, con los tiempos ajustados de retención de dos patrones que se eluyen antes y después del pico del compuesto.

## **2.10. Polifenoles totales**

La determinación o cuantificación del contenido total de fenoles es un factor importante que ha despertado interés por parte de los investigadores debido a los beneficios en la salud, como son la capacidad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, etc. Existen diversas técnicas analíticas que ayudan a identificar o cuantificar los polifenoles en diversas muestras, entre los métodos más usados tenemos resonancia magnética, el HPLC, usado mayormente en frutos; y métodos colorimétricos como el método Folin – Ciocalteu para todo tipo de muestra, método usado en este trabajo de investigación (Juaréz, 2017).

Para conocer acerca del método colorimétrico es necesario primero conocer acerca de los compuestos fenólicos en la muestra de estudio, el aceite.

### **2.10.1. Compuestos fenólicos en el aceite**

Los compuestos fenólicos o polifenoles, son sustancias que poseen varias funciones fenol, y se caracterizan por poseer un anillo fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo. Químicamente, los compuestos fenólicos son un grupo muy variado que abarca desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos, hasta polímeros muy complejos como los taninos condensados, y la lignina (Martín, 2018).

Los compuestos fenólicos son conservadores de alimentos naturales eficaces contra el deterioro oxidativo y la contaminación microbiana. Se encuentran en los frutos y vegetales, ya que junto con otros compuestos naturales originan metabolitos secundarios en las plantas. (Juaréz, 2017).

En los factores que afectan el contenido de compuestos fenólicos están los intrínsecos, es decir propio del alimento, donde la composición es diferente no solo entre distintas especies sino entre variedades del mismo producto. El grado de madurez de las diferentes hortalizas y frutas es otro factor que influye de forma relevante sobre la composición de los fitoquímicos, eso hace que no exista un patrón de comportamiento general para todos los productos (Lezama, 2017).

Los aceites vírgenes, extraídos naturalmente, son una fuente saludable de muchos nutrientes, especialmente antioxidantes, como los compuestos fenólicos, quienes le otorgan las propiedades organolépticas al aceite como el flavor y sabor. Los estudios para determinar qué tipo de compuestos fenólicos se encuentran en determinados aceites están aún en estudio, ya que existen muchas familias de polifenoles presentes en aceites, por lo que es imposible hasta el momento categorizar sobre que compuestos son más importantes, pero dentro de los aceites más citados como el aceite de oliva, aceite de uva, entre otros, se encuentran los ácidos fenólicos y flavonoides (Casanovas, 2012).

- **Ácidos fenólicos**

Éste grupo comprende a los fenólicos que tienen un grupo carbonilo funcional, como el ácido cafeico, ácido vanílico, ácido ferulico, ácido sinápico, y ácido gálico, fueron el primer grupo de fenoles que se

determinaron en aceite. Dentro de esta clasificación se incluyen aquellos compuestos derivados de los ácidos cinámico y benzoico, estructura básica C6-C1 y C6 – C3, respectivamente. Se dividen en dos grupos: ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos. (Soto, 2015).

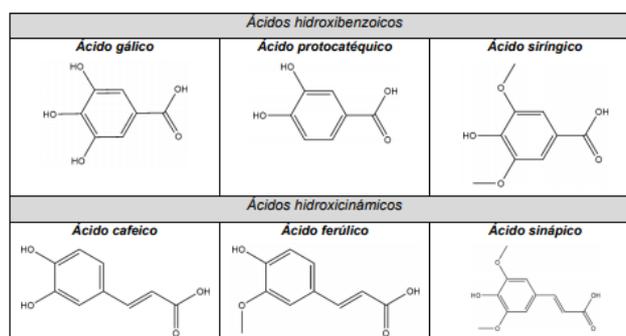


Figura 11. Estructura de principales ácidos fenólicos.

Fuente: Soto, 2015.

- **Flavonoides**

Conocidos también como fitonutrientes, es el más grande grupo de fenoles vegetales. La estructura básica de los flavonoides consiste en un anillo A, otro anillo B, y tres átomos los que unen a los dos anillos (C6-C3-C6). En su clasificación se encuentran las flavonas, flavanoles, flavanonas, antocianidina, e isoflavonas. A menudo los flavonoides no aparecen de manera libre en las plantas, sino que suelen estar ligados a azúcares o también a algunos ácidos (Casanovas, 2012).

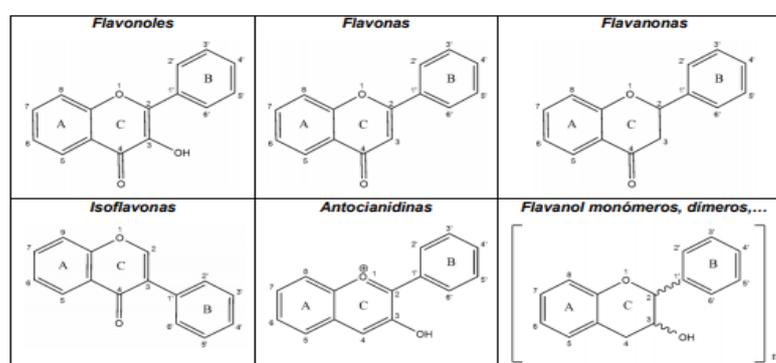


Figura 12. Estructura de los principales flavonoides.

Fuente: Soto, 2015.

### 2.10.2. Método Folin - Ciocalteu.

El método colorimétrico más usado es el establecido por Folin & Ciocalteu, cuyo método recibe el mismo nombre. Este método inicia en el año 1927 para el análisis de tirosina, pero a lo largo del tiempo ha sido modificado y se le ha dado varias aplicaciones; nos da una idea de la cantidad de polifenoles en la muestra (Londoño, 2012).

Vargas (2016), explica que el método se fundamenta en la reactividad de los polifenoles con el reactivo Folin – Ciocalteu, el cual es una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico, de color amarillo, sufre reducción al oxidarse a los compuestos fenólicos de la muestra, originando un complejo denominado wolframio – molibdeno de color azul, cuya absorbancia se mide por espectrofotometría, y depende de la concentración de polifenoles de la muestra. La reacción es la siguiente:

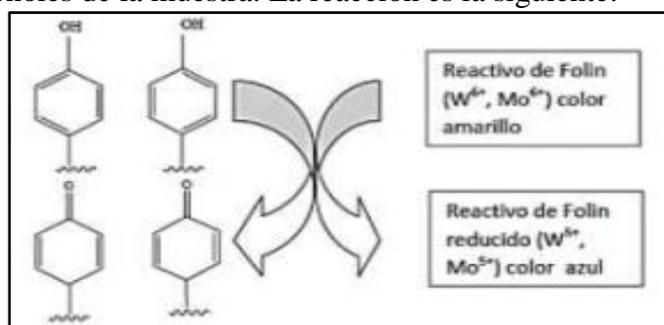


Figura 13. Mecanismo de acción del reactivo de Folin – Ciocalteu.

Fuente: Naspud, 2018.

Los resultados se expresan en mg ácido gálico entre cantidad de muestra, usando una curva de calibración de un compuesto fenólico puro (ácido gálico).

### 2.11. Capacidad antioxidante

Según Vásquez (2018), un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la reacción de oxidación de otras moléculas, en donde se generan radicales libres que dañan las células; los antioxidantes bloquean esas reacciones, capturando

los radicales libres y convirtiéndolos en moléculas menos activas, o reparando el daño causado entregando sus electrones para reforzar algún componente biológico desapareado.

Según Naspud (2018) los radicales libres poseen un electrón desapareado o libre, lo que conlleva a que tengan alta reactividad, ya que captan los electrones de las moléculas estables para que alcancen una estabilidad electroquímica, convirtiendo la molécula que cede el electrón en radical libre. Su tiempo de vida es corto, pero en la reacción causan daños a nivel molecular.

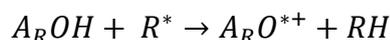
Entonces se entiende por capacidad antioxidante, “Es un parámetro que determina la capacidad de un compuesto antioxidante para evitar que su sustrato se oxide. Si el valor es cercano a cien, la capacidad antioxidante del compuesto en cuestión es alta, y dependerá de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes, entre otros factores” (Caisahuana, 2012, p.25).

#### **2.11.1. Mecanismos de los antioxidantes.**

Los mecanismos de acción de los antioxidantes se distinguen de acuerdo a la forma en como los compuestos antioxidantes retardan o inhiben la oxidación. Según su modo de acción se pueden clasificar en antioxidantes primarios, conocidos como antioxidantes de rompimiento en cadena, los que son aceptores de radicales libres, por lo que inhiben la etapa de iniciación e interrumpen la etapa de propagación; y los secundarios, conocido como preventivos, causan efecto sinérgico porque activan a los antioxidantes primarios; pero hay también los que hacen los 2 mecanismos, se le conocen como múltiples (Sánchez, 2012).

**a) Mecanismo por transferencia de un átomo de hidrógeno (HAT)**

En este mecanismo denominado HAT, el antioxidante actúa atrapando un radical mediante la donación de átomos de hidrógeno. Además la presencia del radical libre produce que se rompa un enlace en la molécula del antioxidante, ocurriendo una unión oxígeno-hidrógeno como resultado los antioxidantes pasan un átomo de hidrógeno a los radicales peroxilo ( $\text{ROO}\bullet$ ), haciendo que se conviertan en hidroperóxidos, y la molécula que cedió se transforma en un radical libre.



Con una elevada estabilidad del radical  $\text{ArO}\bullet$  tendrá una mayor eficiencia del antioxidante  $\text{ArOH}$ . En este mecanismo lo que importa es la Energía de Disociación del Enlace O-H (BDE), mientras más débil sea el enlace O-H mejor será el antioxidante del compuesto  $\text{ArOH}$  (Sánchez, 2012).

**b) Mecanismo por transferencia de un electrón (SET)**

En ese mecanismo el antioxidante dona o cede un electrón al radical peroxilo, o también a cualquier otra especie oxidante, y con ello puede disminuir a sustancias como los radicales libres, formando entre los productos un catión radical antioxidante ( $A_R\text{O}^{*\cdot}$ ).



La determinación de la capacidad antioxidante es acerca del poder reductor que exhibe el compuesto. El potencial de ionización (IP) es el factor energético determinante en la reacción total, que representa la simplicidad con la que el antioxidante cede un electrón. Los

mecanismos SET y HAT ocurren a la misma vez, pero con diferentes velocidades, tal que los valores de BDE e IP son fundamentales para saber acerca de la actividad de los antioxidantes y el mecanismo de reacción más conveniente (Sánchez, 2012).

### 2.11.2. Método DPPH.

Entre los métodos de evaluación de capacidad antioxidante basados en la captura o eliminación de los radicales libres, encontramos al método DPPH. Este método se basa en que el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) tiene un electrón desapareado, y quita un hidrógeno al radical de un antioxidante de la sustancia o muestra donadora de electrones, pasando de un color púrpura intenso a un naranja pálido progresivamente conforme va reaccionando. El ensayo DPPH, sin lugar a dudas ha sido adoptado por varios laboratorios, pero con modificaciones a conveniencia, el principal determinante es el tiempo que se requiere para que se produzca la reacción redox (Vargas, 2016).

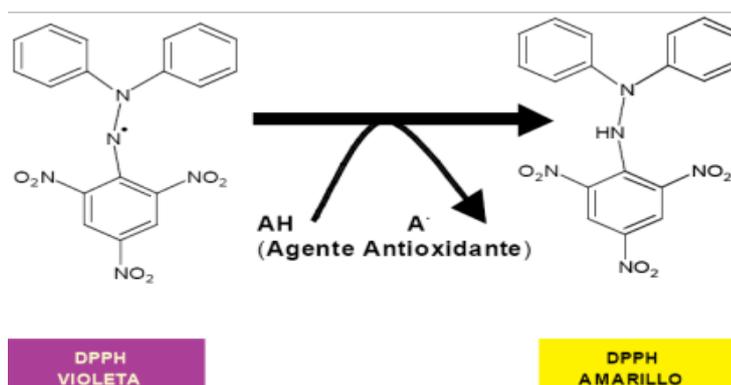


Figura 14. Reacción de una molécula de DPPH con un agente antioxidante.

Fuente: Caisahuana, 2012.

Esta reacción se cuantifica con la curva estándar de trolox para la medición espectrofotométrica a 517nm. La ventaja de este método es su simplicidad y el bajo requerimiento instrumental (Vásquez, 2018).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad y el Laboratorio de Nutrición, del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA); y en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) de la Universidad Nacional del Santa en Nuevo Chimbote.

#### **3.2. Materiales y equipos**

##### **3.2.1. Materia prima.**

Se utilizaron almendras de mango de dos variedades: Kent y Edward, y dos grados de madurez: pintón y maduro, recolectadas de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.; ubicada en el distrito de Santa, Ancash.

##### **3.2.2. Reactivos.**

- Ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
- Ácido gálico ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ )
- Alcohol al 95% y 96%
- Anisidina cristalina
- Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 20%
- Cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ )
- DPPH (2,2-difenil-1-picrihidrazilo)
- Estándares de ácidos grasos
- Éter de petróleo
- Fenolftaleína (solución etanólica al 1%)
- Folin-Ciocalteu 0.25N
- Gas nitrógeno (de alta pureza)

- Isooctano
- Metanol HPLC (CH<sub>4</sub>O)
- Reactivo Hanus
- Solución de almidón al 1%
- Solución de cloruro de sodio (NaCl) saturado
- Solución de Hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1N y 0.5N
- Solución de Ioduro de potasio (KI) al 15% y saturado
- Solución de Tiosulfato de sodio al 0.1N
- Solución de Trifluoruro de boro (BF<sub>3</sub>) al 12%
- Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico)

### **3.2.3. Materiales de vidrio.**

- Bureta graduada con llave teflón de 50ml
- Celdas para espectrofotómetro de vidrio óptico
- Crisoles de porcelana
- Fiolas de 10, 100 y 500ml
- Frascos de color ámbar de 50ml con tapa rosca
- Matraces Erlenmeyer de 250 y 500ml
- Picnómetro de 10ml
- Pipetas de vidrio graduadas de 1, 5 y 10ml
- Pipetas Pasteur punta larga de 1ml
- Placas Petri
- Probetas graduadas de 50 y 100ml
- Tubos de reacción para el equipo Rancimat
- Vasos de precipitado pirex de 150, 250, 500 y 1000ml
- Viales transparentes y ámbar de 2, 5 y 10ml, con tapa de goma y rosca

### 3.2.4. Equipos.

- Equipo: Balanza analítica, Marca: Precisa, Modelo: 220<sup>a</sup>, Serie: 321 LX, Rango: Min.: 0.001 g - Máx.: 220 g, Error: 0.001g
- Equipo: Balanza de precisión, Marca: Precisa, Modelo: 4200C, Serie: 321 LX, Rango: Min.: 0.5 g - Máx.: 4200 g, Error: 0.1g
- Equipo: Baño María, Marca: AQUA BATH, Modelo: N° 18007 A-1CEC
- Equipo: Centrífuga digital refrigerada, Marca: SARTORIUS, Modelo: Sigma-2-16PK, Velocidad máxima: 15000 rpm, Motor: 1 HP
- Equipo: Centrífuga, Marca: SIGMA, Modelo: 2-6, Velocidad máxima: 4 000 rpm
- Equipo: Cromatógrafo de gases, Marca: Shimadzu, Modelo: GC- 2010, equipado con columna capilar: RT-2560 de sílice fundida. Marca=Restek, diámetro interno=0.25 mm, longitud = 100 m, df= 0.2 μm
- Equipo: Espectrofotómetro digital UV- VISIBLE, Marca: JASCO, Modelo: V-670
- Equipo: Estufa , Marca: POL-EKO APARATURE, Modelo: SW 17TC, Serie: SW-199
- Equipo: Extractor de grasas Soxhlet, Marca: FOSS, Modelo: Soxtec TM-2043
- Equipo: Molino manual, Marca: CORONA, Serie: P-Granos
- Equipo: Mufla, Marca: THERMOLYNE ,Serie: 347034984
- Equipo: Prensa expeller, Marca: MONFORTS, Modelo: KOMET CA 59G, Velocidad de giro: 280 RPM – 1400 RPM , Motor: 2.2 kW
- Equipo: Rancimat , Marca: METHROM, Modelo: 743 Ω
  - Equipo: Refractómetro digital, Marca: RUDOLPH RESEARCH, Modelo: J-157, Serie: 14265

- Equipo: Ultrasonido, Marca: COLE PARMER, Modelo: 8892-26

### **3.3. Metodología de análisis**

#### **3.3.1. Análisis proximal para la almendra de mango.**

##### **3.3.1.1. Humedad.**

De acuerdo al método AOAC 934.06 (37.1.10).

##### **3.3.1.2. Cenizas.**

De acuerdo al método AOAC 942.05.

##### **3.3.1.3. Grasa.**

De acuerdo al método AOAC 922.06 (32.1.14).

#### **3.3.2. Análisis fisicoquímicos para el aceite de almendra de mango.**

##### **3.3.2.1. Densidad.**

De acuerdo al método dado por la IUPAC 2.101.

##### **3.3.2.2. Índice de refracción.**

De acuerdo al método dado por la AOCS Cc-7-25.

##### **3.3.2.3. Índice de acidez.**

Se siguió el método estandarizado descrito en la AOCS Cd 3d-63.

##### **3.3.2.4. Índice de peróxidos.**

Conforme al método AOCS Cd 8b-90.

##### **3.3.2.5. Índice de yodo.**

Se determinó mediante el método de hanus: cloroformo establecido por la AOAC 920.158.

##### **3.3.2.6. Índice de anisidina.**

Conforme al método AOCS Cd 18-90.

##### **3.3.2.7. Valor TOTOX.**

De acuerdo a lo planteado por Shahidi & Wanasundara (2008).

### **3.3.3. Estabilidad oxidativa.**

Se desarrolló el método de acuerdo a lo planteado en la norma internacional AOCS Cd 12b-92, con la aplicación del equipo Rancimat marca Metrohm, modelo 743.

#### **3.3.3.1. Índice de estabilidad oxidativa.**

El método relata que el índice de estabilidad oxidativa (OSI) mide el tiempo de inducción mediante el trazado de la conductividad contra el tiempo, consiste en las siguientes etapas:

##### **A. Preparación de la muestra**

- La preparación de muestra es simple, consiste en el pesado de 3g ( $\pm 0.1$ g) de muestra líquida (aceite de almendra de mango) en cada tubo de vidrio de reacción en una balanza analítica, percatándose que al añadir no se manchen las paredes del tubo. Armar las tapas de cada tubo, y colocarlas.

##### **B. Colocación de las celdas de conductividad**

- Añadir agua destilada en los vasos de policarbonato, seguidamente, colocar los electrodos (previamente lavados). Cada tapa de los vasos tiene integrado la celda de conductividad. La celda conductimétrica integrada es de acero inoxidable, y resiste a las diversas corridas y lavados.

##### **C. Condiciones del método Rancimat**

- Para evitar variaciones se debe seleccionar unas adecuadas condiciones para la muestra, para ello se debe tener en cuenta que el tiempo OSI no debe pasar de 15 horas, y tampoco debe ser menor de 4 horas.

- En el análisis para muestra de aceite de almendra de mango en variedades Kent y Edward, con 2 grados de madurez, se siguió las siguientes condiciones:
  - Temperaturas del bloque de calefacción: 130°C, 140°C y 150°C
  - Flujo de aire: 15 L/h
  - Conductividad del agua destilada: 1.2 µS/cm
  - Volumen de agua destilada: 60ml

### 3.3.3.2. *Estimación de la vida útil.*

Se estimó la vida útil de las muestras de aceite en horas, por medio del método de extrapolación que relaciona los valores de OSI (tiempo) con la temperatura. En la fórmula matemática el valor A es el coeficiente de temperatura, se obtiene por la pendiente de las rectas que se realizan en las curvas del gráfico conductividad vs tiempo; este valor indica cuan susceptible es el aceite al aumento de temperatura. La constante B es un valor empírico, sin significación física.

$$OSI = 10^{AT+B}$$

$$\log(OSI) = AT + B$$

**Donde:**

**OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa en horas

**T:** Temperatura en °C

**A:** Constante

**B:** Constante

### 3.3.3.3. *Energía de activación*

Se determinó mediante la pendiente de la recta en la gráfica del logaritmo natural de los valores de OSI vs el inverso de la temperatura, usando la siguiente fórmula:

$$\ln(OSI) = \ln\left(\frac{-\ln(1 - \alpha^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

**Donde:**

**OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa (h).

**T:** Temperatura (°C).

**Ea:** Energía de Activación (KJ/mol).

**R:** Constante ideal de los gases. (8,314 KJ/mol)

**Z:** Factor de Arrhenius.

**$\alpha^*$ :** grado de transformación de moléculas insaturadas.

### 3.3.4. Perfil de ácidos grasos.

Se determinó de acuerdo a lo planteado en el método oficial AOAC 996.06, usando el equipo para cromatografía de gases marca Shimadzu; modelo GC-2010, con los siguientes componentes y parámetros de análisis:

- Detector de ionización de llama (FID) - temperatura: 200 °C
- Columna capilar RT-2560 de sílice fundida - longitud: 100m, di: 0.25mm, df: 0.2  $\mu$ m; velocidad: 1.20ml/min, Ti = 100°C – Tf= 240°C
- Gases: Hidrógeno, helio y aire
- Gas de arrastre: Helio (He) a velocidad de 124.2ml/min; y presión 261,5kPa
- Inyector AOC -20I - volumen de inyección: 1 $\mu$ l; Sistema de inyección: Split Ratio, temperatura del Split: 225°C.

La preparación de muestra se desarrolló de acuerdo al método FAMES,

### **3.3.5. Polifenoles totales.**

Se determinó mediante el método establecido por Folin & Ciocalteu (1927). Los resultados se expresan en mg ácido gálico (GAE) /g muestra. Según el método estandarizado se tiene la siguiente metodología para la preparación de reactivos:

**a) Preparación de solución Folin-Denis (solución Folin-Ciocalteu 0.25N)**

- Tomar 1.25ml del reactivo Folin - Ciocalteu y enrasar a 10ml con agua destilada en una fiola color ámbar o forrada con papel aluminio.

**b) Preparación de solución de ácido gálico**

- Pesar 25mg de ácido gálico y enrasar a 100ml con agua destilada; de esta solución tomar 2ml y enrasar a 10ml con agua destilada.

**c) Preparación de solución de carbonato de sodio al 20%**

- Pesar 2g de carbonato de sodio, y agregar agua destilada hasta enrase de 10ml, agitar y calentar a 70°C y 80°C hasta disolución y enfriar.

Para la preparación de muestra se siguió el método establecido por Bail et al. (2008), quienes relatan que para obtener el extracto acuoso de la muestra de aceite se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Pesar 1g de cada muestra de aceite en cada tubo de ensayo.
- Agregar 3ml de una solución metanol: agua (90:10), seguidamente agitar durante 4 minutos en el vortex.
- Centrifugar durante 5 minutos a 3000 rpm por minuto.
- Repetir el procedimiento de extracción 3 veces para cada aceite.

- Combinar todos los extractos metanólicos, y concentrar hasta sequedad añadiendo nitrógeno.
- En caso la muestra se deba almacenar, guardar en oscuridad a 20°C hasta su análisis, y al momento de usar disolver la materia seca con 1ml de metanol: agua (10:90).

Para determinar la cantidad de polifenoles totales en la muestra primero se debe preparar la curva estándar, y para ello se sigue la siguiente metodología Folin y Ciocalteu (1927):

**a) Determinación de la curva estándar**

- En tubos de vidrio previamente forrados con papel aluminio, añadir 150µl, 300µl, 600µl, 900µl, 1200µl de solución de ácido gálico respectivamente.
- Añadir 300µl de solución Folin-Denis, agitar y reposar por 5 minutos.
- Añadir 150µl de carbonato de sodio a cada tubo, y agitar.
- Enrasar con agua destilada hasta completar un volumen de 3750µl, homogenizar y reposar por 2 minutos.
- Leer en el espectrofotómetro a 726nm.

**b) Blanco**

- En un tubo de vidrio oscuro colocar 100µl de solución de Folin-Denis.
- Añadir 50µl de carbonato de sodio, enrasar hasta 1250µl, agitar y dejar reposar por 5 minutos.
- Leer en el espectrofotómetro a 726nm.
-

### **c) Determinación de Polifenoles totales**

- Tomar 900µl del extracto de la muestra, y colocar en tubos de vidrio forrados con aluminio o ámbar.
- Añadir 300µl de solución Folin – Denis en cada tubo de vidrio, agitar y reposar por 5 minutos.
- Añadir 150µl de carbonato de sodio, agitar, y enrasar a un volumen de 3750µl con agua destilada. Agitar y homogenizar.
- Reposar por 5 minutos y leer en el espectrofotómetro a 726nm.

### **3.3.6. Capacidad antioxidante.**

Se determinó la capacidad antioxidante mediante el método DPPH, aplicando la metodología establecida por Plank et al. (2012), cuyo método fue validado por la AOAC internacional. Los resultados son expresados en µgTrolox/gmuestra. El procedimiento validado para preparación de reactivos es el siguiente:

#### **a) Preparación de la solución DPPH (40ppm o mg/L)**

- Añadir 20mg de reactivo DPPH a una fiola oscura color ámbar de 500ml.
- Agregar 250ml con metanol grado HPLC, y agitar por 20 minutos.
- Añadir 250ml de agua destilada, y agitar por 20 minutos.
- Aforar con metanol, y agitar por 10ml.
- Proteger la solución DPPH de la luz en cada paso.

#### **b) Preparación de la solución estándar de trolox (50mg/100ml)**

- Disolver 5mg de trolox con 5ml de metanol grado HPLC en una fiola oscura de 10ml, agitando por 5 minutos.
- Añadir 5ml de agua destilada y agitar por 5 minutos.

- Aforar con metanol.
- Proteger la solución estándar de trolox de la luz en cada paso.

Para la preparación del extracto de la muestra se siguió el procedimiento establecido por Bail et al. (2008) explicado anteriormente, donde en términos generales se le añadía metanol, pasaba por agitación, centrifugación y filtración.

La determinación de la capacidad antioxidante se realiza preparando primero la curva estándar y luego pasando la muestra en el equipo, para ello se sigue la siguiente metodología dada por Plank et al. (2012):

**a) Determinación de la curva de calibrado**

- En tubos de vidrio previamente forrados con papel aluminio, añadir alícuotas de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4ml de la solución del estándar de trolox (cada punto por triplicado).
- Añadir 6.25ml de solución de DPPH, homogenizar, y tapar los tubos.
- Llevar a incubación a 37°C por 2 horas.
- Transcurrido el tiempo, retirar los tubos y proceder a lecturar a 517nm, usando agua destilada como blanco.

**b) Determinación de la capacidad antioxidante**

- Tomar 100µl de cada muestra de aceite y añadir en tubos de vidrio forrados con aluminio.
- Añadir 6.25ml de solución de DPPH, homogenizar, y tapar los tubos.
- Llevar a incubación a 37°C por 2 horas.
- Transcurrido el tiempo, retirar los tubos y proceder a lecturar a 517nm, usando blanco para la muestra.

### 3.4. Metodología de extracción del aceite de almendra de mango por prensado en frío.

El diagrama de bloque del proceso de obtención del aceite de almendra de mango de cada variedad y grado de madurez se muestra en la figura 15.

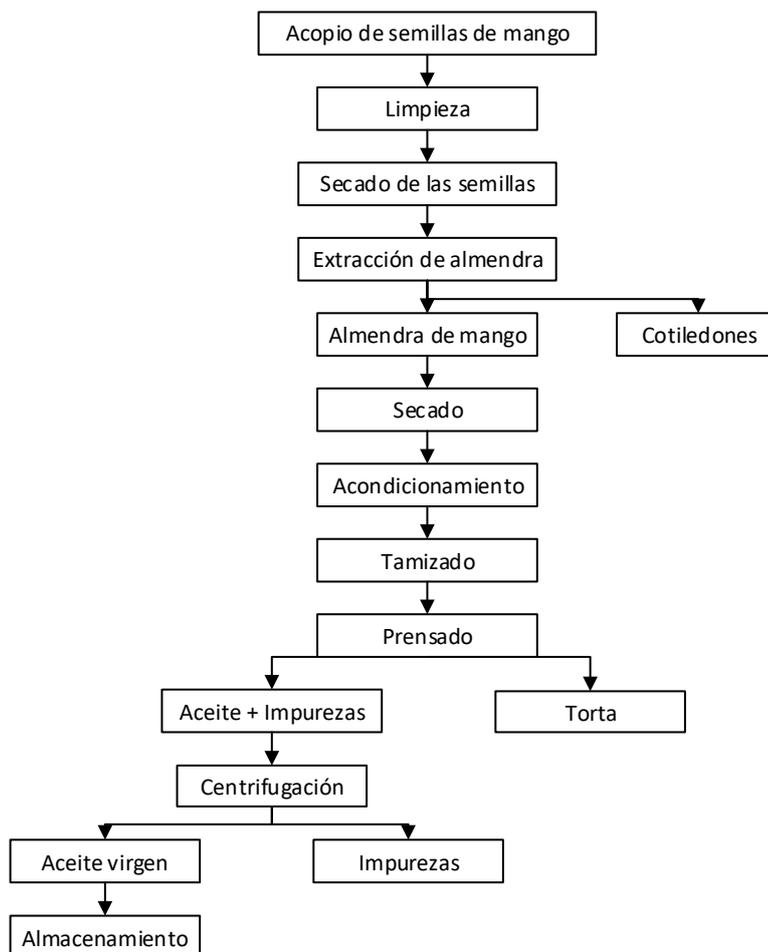


Figura 15. Diagrama de bloque de la obtención de aceite de almendra de mango.

La descripción de cada etapa se relata a continuación:

#### 1. Acopio de semillas de mango

Se recibieron las semillas en el IITA. Las semillas de mango provenientes de la agroexportadora Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C., de cada variedad y de cada grado de madurez, fueron clasificadas en diferentes jabas.

Inmediatamente después fueron almacenadas en refrigeración a 4°C hasta su procesamiento en menos de 24 horas.

## **2. Limpieza de las semillas de mango**

Se lavaron las semillas en tinas con abundante agua para eliminar todo rastro de pulpa de mango con el fin de evitar que estos afecten la calidad de las semillas ocasionando su pudrición.

## **3. Secado de las semillas de mango**

El secado superficial de las semillas se realizó por exposición solar en el techo del instituto de investigación tecnológico agroindustrial (IITA) con el fin de eliminar la humedad de las semillas y facilitar la extracción de las almendras.

## **4. Extracción de la almendra de las semillas de mango**

Una vez seca la semilla resulta más fácil retirar la almendra con ayuda de una cuchara de acero inoxidable se extrajo la almendra de la semilla, seguidamente separamos las almendras de sus cotiledones (la capa oscura que rodea a las almendras) con la ayuda de cuchillos y manualmente.

## **5. Secado de las almendras de mango**

Las almendras enteras se secaron en una estufa a una temperatura de 60°C, hasta alcanzar una humedad del 8%, el tiempo dependerá de la humedad inicial de la almendra de mango.

## **6. Molienda de las almendras de mango**

Las almendras secas se fraccionaron en un molino manual hasta obtener una granulometría entre 0.85 mm a 2 mm aproximadamente.

## **7. Tamizado de las almendras molidas de mango**

Las almendras molidas se tamizaron para obtener la granulometría adecuada entre 0.85 mm y 2 mm, las que no cumplen con este parámetro se descartaron

en el proceso de extracción debido a que pueden obstruir los agujeros de la salida del aceite en el equipo, obstaculizando la extracción del aceite.

#### **8. Prensado de las almendras molidas de mango**

La extracción mecánica se realizó en una prensa expeller modelo KOMET CA 59G, a una temperatura no mayor de 50°C, se usó un tamaño de boquilla de 4mm, una velocidad de rotación del tornillo sin fin de 15rpm.

#### **9. Centrifugación del aceite extraído**

El aceite extraído de cada variedad y grado de madurez, se sometió a un proceso de centrifugación a 3600rpm por un tiempo de 10 minutos. Este proceso se hizo para eliminar el material sólido o impurezas (sedimento) del aceite clarificado (sobrenadante), con el fin de obtener un aceite virgen totalmente limpio (aceite puro).

#### **10. Almacenamiento del aceite virgen**

El aceite centrifugado se envasa en recipientes ámbar con tapa rosca, bajo atmósfera de nitrógeno y se almacenara en refrigeración a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5. Procedimiento experimental

El diagrama de flujo del proceso experimental para la determinación de las características fisicoquímicas y estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.) de las variedades Edward y Kent en los grados de madurez pintón y maduro se muestra en la figura 16.

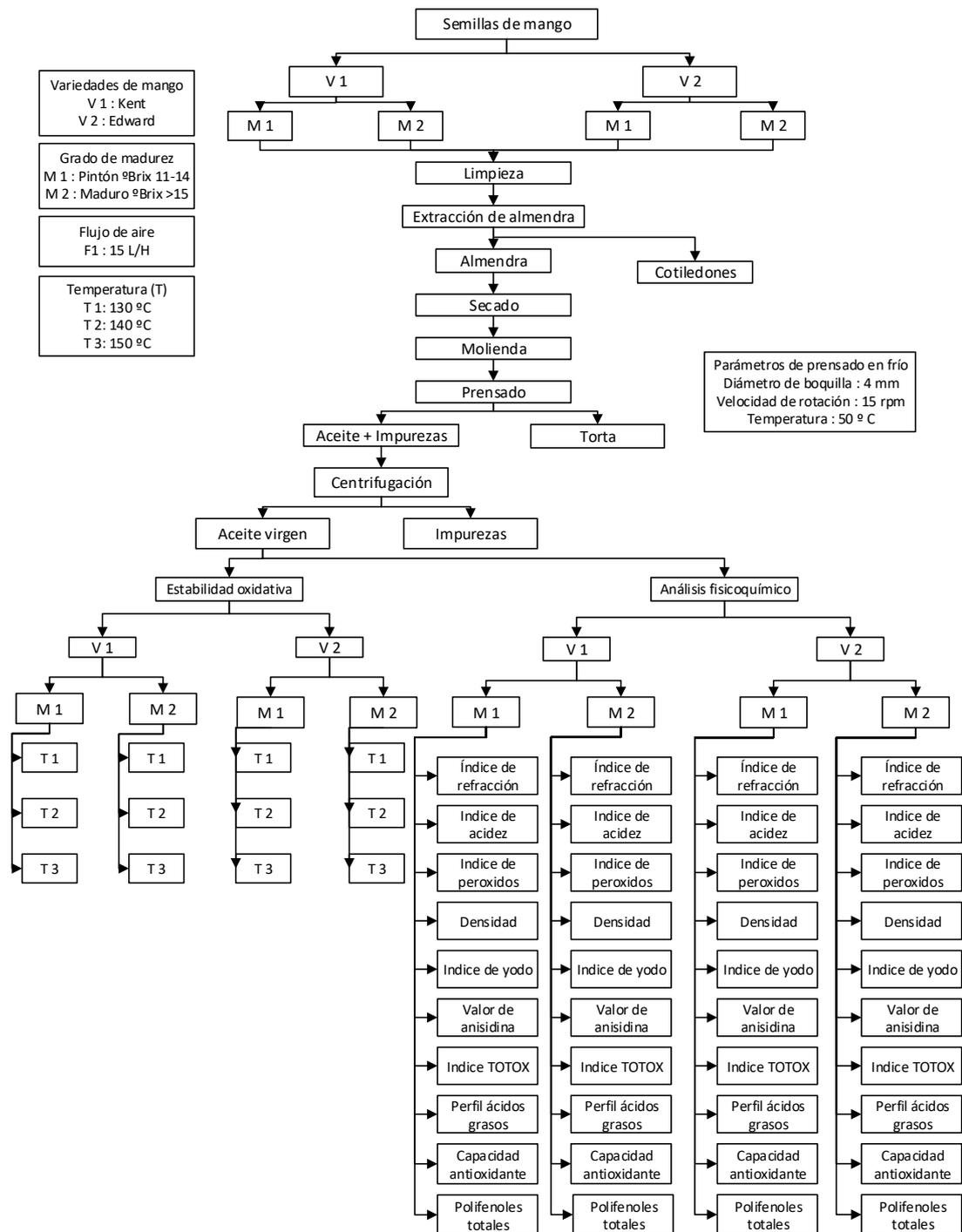


Figura 16. Flujo del proceso experimental.

### **3.6. Diseño estadístico**

El diseño estadístico ayuda en la evaluación de los valores obtenidos de los diversos análisis realizados a la muestra de aceite de almendra de mango, y para ello se separó en 2 grupos de acuerdo a las variables estadísticas que influyen en los análisis. Los programas estadísticos usados para la evaluación de los datos fueron Statgraphics Centurion y Microsoft Office Excel 2013.

#### **3.6.1. Evaluación de la estabilidad oxidativa.**

Para evaluar el índice de estabilidad oxidativa del aceite se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 3 = 12$ , 2 variedades de mango, 2 grados de madurez, y 3 temperaturas (parámetro Rancimat), es decir 12 tratamientos con 3 repeticiones. Siendo un total de 36 corridas, las cuales fueron evaluadas estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

- **Variable independiente**

Variedad: Kent y Edward

Grado de madurez: Pintón y maduro

Temperatura en el equipo Rancimat: 130, 140 y 150°C

- **Variable dependiente**

Índice de estabilidad oxidativa

Estimación de la vida útil

- **Modelo matemático lineal**

Los datos se sometieron a un diseño completamente al azar en el software Statgraphics Centurion, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + E_{ijk}$$

**Donde:**

$Y_{ijk}$  = Cualquier observación en la estimación de la vida útil

$\mu$  = Media poblacional

$A_i$  = Variedad de las semillas  $i = 0, 1$

$B_j$  = Grado de madurez  $i = 0, 1$

$C_k$  = Temperatura  $i = 0, 1, 2$

$(AB)_{ij}, (AC)_{ik}, (BC)_{jk}, (ABC)_{ijk}$  = Efecto de las interacciones entre variedad, grado de madurez y temperatura.

$E_{ijk}$  = Error aleatorio experimental

- **Modelo del diseño experimental**

Tabla 6

*Modelo del experimento.*

Variedad de las semillas	Temperatura °C	Estado de madurez	
		$b_0$	$b_1$
$a_0$	$c_0$	$a_0b_0c_0$	$a_0b_1c_0$
	$c_1$	$a_0b_0c_1$	$a_0b_1c_1$
	$c_2$	$a_0b_0c_2$	$a_0b_1c_2$
$a_1$	$c_0$	$a_1b_0c_0$	$a_1b_1c_0$
	$c_1$	$a_1b_0c_1$	$a_1b_1c_1$
	$c_2$	$a_1b_0c_2$	$a_1b_1c_2$

**Donde:**

$a_0$  = Kent 0

$a_1$  = Edward 1

$b_0$  = Pintón 0

$b_1$  = Maduro 1

$c_0$  = Temperatura 0

$c_1$  = Temperatura 1

$c_2$  = Temperatura 2

**3.6.2. Evaluación de los análisis proximales, fisicoquímicos, perfil de ácidos grasos, polifenoles totales y capacidad antioxidante.**

- **Variable independiente**

Variedad: Kent y Edward

Grado de madurez: Pintón y maduro

- **Variable dependiente**

Humedad

Índice de yodo

Cenizas

Índice de anisidina

Grasa

Valor TOTOX

Densidad

Perfil de ácidos grasos

Índice de refracción

Polifenoles totales

Índice de acidez

Capacidad antioxidante

Índice de peróxidos

- **Modelo del diseño experimental**

Tabla 7

*Modelo estadístico de los análisis al aceite de almendra de mango.*

ANÁLISIS	VARIEDAD KENT		VARIEDAD EDWARD	
	PINTON	MADURO	PINTON	MADURO
Densidad				
Índice de refracción				
Índice de acidez				
Índice de peróxidos				
Índice de yodo				
índice de anisidina				
Valor TOTOX				
Perfil de ácidos grasos				
Polifenoles totales				
Capacidad antioxidante				

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Clasificación y caracterización del mango (*Mangifera indica* L.)

En la tabla 8 se pueden comparar las características intrínsecas en cuanto a forma, tamaño y color del mango Edward y Kent, en grados de madurez pintón y maduro, notando que la forma del mango Edward tiene una terminación en punta, mientras que el mango Kent su forma es más redondeada. Además en cuanto al grado de madurez, se puede visualizar como al avanzar la maduración, es decir al pasar de pintón a maduro, cambia el aspecto del fruto, presentándose coloraciones entre amarillo y anaranjado en la cáscara. El mango Kent presenta chapas más redondeadas y notorias en grado de madurez maduro y el mango Edward en grado de madurez maduro. Pérez (2013) menciona que esas variaciones intrínsecas son muy significativas, y que dependen de la variedad del fruto, inclusive la pulpa también muestra diferencias, ya que puede presentar o no fibras.

Tabla 8.

*Clasificación morfológica del mango de acuerdo a variedad y grado de madurez.*

Variedad	Grado de madurez	Fruto
Edward	Pintón	
	Maduro	
Kent	Pintón	
	Maduro	

Es conocido que el mango presenta variabilidad en sus características morfológicas dependiendo del lugar donde fue cultivado, ya que el fruto acopla información que se produce en la interacción con el ambiente en sus genomas, de acuerdo a las necesidades que requiere para sobrevivir en su entorno (López, 2013).

A continuación se muestran los resultados de la caracterización física para el mango Kent y Edward en grados de madurez, pintón y maduro.

Tabla 9.

*Caracterización física del mango variedad Edward y Kent en los dos grados de madurez.*

VARIEDAD		Edward		Kent	
GRADO DE MADUREZ		Pintón	Maduro	Pintón	Maduro
<b>SOLIDOS SOLUBLES TOTALES (S.S.T.)</b>		11 – 14 ° Brix	≥ 15 °Brix	11 – 14 ° Brix	≥ 15 °Brix
<b>FRUTA</b>	<b>Peso de la fruta (g)</b>	368.4 ± 54.9758*	395.8 ± 20.5663*	414.5 ± 51.0288*	417.4 ± 62.7995*
<b>CÁSCARA</b>	<b>Peso de la cáscara (g)</b>	48.6 ± 12.5958*	40.1 ± 3.5553*	50.8 ± 9.5088*	55.5 ± 8.4528*
	<b>Porcentaje de la cáscara (%)</b>	13.0 ± 1.8047*	10.2 ± 1.2079*	12.4 ± 3.1348*	13.3 ± 0.5905*
<b>PULPA</b>	<b>Peso de la pulpa (g)</b>	254.9 ± 20.7445*	266.8 ± 37.5824*	297.3 ± 36.8612*	299.5 ± 56.8487*
	<b>Porcentaje de la pulpa (%)</b>	69.8 ± 7.0976*	67.2 ± 6.2181*	71.7 ± 2.5376*	71.5 ± 2.9773*
<b>SEMILLA</b>	<b>Peso de la semilla (g)</b>	22.7 ± 4.9244*	26.6 ± 3.3045*	32.8 ± 2.4171*	35.8 ± 2.9009*
	<b>Porcentaje de la semilla (%)</b>	6.2 ± 1.2191*	6.7 ± 0.6864*	7.9 ± 1.1160*	8.8 ± 1.5481*
<b>COTILEDÓN</b>	<b>Peso del cotiledón (g)</b>	1.0 ± 0.1732*	1.2 ± 0.1000*	1.3 ± 0.3594*	1.2 ± 0.3304*
	<b>Porcentaje de cotiledones (%)</b>	0.2 ± 0.0288*	0.3 ± 0.0314*	0.3 ± 0.0915*	0.2 ± 0.0489*
<b>ALMENDRA</b>	<b>Peso de la almendra (g)</b>	18.4 ± 0.3215*	18.6 ± 0.5033*	20.9 ± 0.8770*	25.3 ± 2.6589*
	<b>Porcentaje de la almendra (%)</b>	4.1 ± 0.7569*	4.7 ± 0.2478*	5.1 ± 0.6525*	6.2 ± 1.1883*

\* Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

\* SST = Sólidos Solubles Totales

Los datos de la tabla 9 corresponden a un muestreo de cada variedad y grado de madurez para mango congelado IQF y pulpa, en la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C. Los frutos se caracterizaron en función a las partes principales del fruto, como la cascara, pulpa, semilla, almendra y cotiledones, además se analizó y clasificó los datos de contenido total de sólidos solubles de la pulpa.

De acuerdo a esta información se demuestra que la variedad Kent presentó alto contenido en pulpa en variedad pintón y maduro, de 71.7% y 71.5 % respectivamente, y a la vez contiene un alto peso en la almendra en ambos grados de madurez, de 5.1% y 6.2%, por el contrario la variedad Edward presenta bajo contenido de pulpa y almendra, siendo en características morfológicas el mango variedad Kent quien más resalta debido a sus altos porcentajes en fruto, pulpa, semilla y almendra, dado a su gran tamaño a comparación del mango Edward.

Concordando con lo afirmado por Garrido & Valdés (2012) quienes mostraron que la cáscara constituye aproximadamente entre el 15-20% de la fruta, mientras que las semillas representan del 20-60% del peso de la fruta entera, dependiendo de la variedad de mango, y el núcleo interior de la semilla de 45-75% con respecto a la semilla entera.

En el procesamiento industrial del mango se utiliza principalmente la pulpa teniendo como desperdicio el bagazo, la semilla y la piel, los cuales representan cerca del 40 al 60 % del peso total de la fruta. Estos desperdicios se podrían aprovechar teniendo en cuenta que la piel y el bagazo conforman el 5 al 10 % y la semilla el 15 al 20 % (Tapia et al., 2013). Sumaya et al. (2012) sectorizaron la cadena agroindustrial del mango en dos partes, sector primario (venta en fresco) y sector secundario (preparación y envasado de frutas), este último está dirigido principalmente en la producción de pulpas, jugos y concentrados.

## 4.2. Caracterización proximal de la almendra de mango (*Mangifera indica* L.)

Se realizó la composición química de las almendras de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) de la variedad Edward y Kent en los grados de madurez pintón y maduro, los que se expresan en base seca en la tabla 10:

Tabla 10

*Composición química proximal de la almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Humedad (%)	Cenizas (%)	Porcentaje de grasas (%)
Edward	Pintón	51.5633 ± 0.7586*	2.7867 ± 0.2914*	10.2158 ± 0.4624*
	Maduro	44.8500 ± 0.3604*	3.4633 ± 0.1401*	11.0282 ± 0.7351*
Kent	Pintón	60.0033 ± 0.7697*	2.0367 ± 0.1150*	8.6576 ± 1.9786*
	Maduro	55.5067 ± 1.2152*	2.4067 ± 0.1550*	9.1553 ± 1.6883*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

### 4.2.1. Humedad.

Las almendras de semillas de la variedad de mango Edward en los grados de madurez maduro y pintón presentan porcentajes de humedad de 44.85% y 51.56% respectivamente; siendo menores en comparación a los porcentajes de humedad de la variedad Kent en los grados de madurez maduro y pintón, 55.51% y 60.00% respectivamente, esta diferencia entre grados de madurez puede haberse dado porque a medida que va madurando el fruto existe menos cantidad de agua y aumenta el porcentaje de grasa o aceite (Yildirim, 2009). Conocer esto es muy importante porque la humedad es un factor que afecta la calidad de la almendra de la semilla de mango (Ashoush & Gadallah, 2011). Los datos obtenidos en comparación a lo que reportaron Gutiérrez et al. (2015) y Rodríguez (2014), que las variedades de mango Alphonso y Mariquita tienen 45.43% y 60.36% de humedad respectivamente determinan que los mangos en estudio tienen el mismo contenido de humedad a la almendra de mango Kent

y Edward. Silva (2018) reportó una humedad de 55.53% para la almendra de mango Kent en estado maduro, siendo muy similar al valor hallado en esta investigación, de 55.5%. La diferencia puede ser debido a factores como la variedad de mango, el clima, tiempo de cosecha, grado de maduración del fruto, y al encontrarse la almendra dentro de la semilla del fruto y siendo usada para el cultivo del mango, se deduce que tiene gran influencia el manejo agronómico sobre la almendra de semilla de mango.

#### **4.2.2. Cenizas.**

El contenido de cenizas obtenidos de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 2.7867% y 3.4633%; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 2.0367% y 2.4067% comparándolo con los valores reportados por los autores Culebro (2017), Gutiérrez et al. (2015), Silva (2018) y López (2013) quienes obtuvieron valores de 2.81%, 2.48%, 2.04%, y 3.35% en las variedades Tommy Atkins, Alphonso, Kent y Edward respectivamente, así mismo Rojas & Burbano (2011), Ashoush & Gadallah (2011) obtuvieron valores de 0.74%, 1.10% y 1.46% en las variedades Tommy atkins y Azúcar. Se puede observar que según la variedad el contenido de cenizas difiere así mismo en función al grado de madurez es diferente a un menor grado de madurez se presenta una menor cantidad de cenizas, teniendo que considerar que el contenido de cenizas también puede variar de acuerdo al fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha del mismo, así como por las condiciones de cultivo (Priego, 2007).

El contenido de cenizas se relaciona con el contenido total de minerales presentes en la almendra de mango, lo que permite conocer la presencia de

elementos inorgánicos en la almendra de la semilla de mango, saber esto sirve para conocer si la almendra de la semilla mango se pueden usar para generar otros coproductos que generen un valor agregado, como abono para el suelo o para alimentación animal debido al contenido de minerales.

#### **4.2.3. Porcentaje de grasa.**

Los porcentajes de grasas obtenidos de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 10.2158% y 11.3282%; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 8.6576% y 9.1553%; comparándolo con los valores reportados por los autores Chaparro et al. (2015), Rodríguez 2014), Silva (2018) y López (2013) quienes obtuvieron valores de 10.05%, 11.35%, 8.65% y 9.34% en las variedades Tommy Atkins, Mariquita, Kent y Kala Alphonso respectivamente. Nzikou et al. (2010), Abdalla et al. (2007), Rojas & Burbano (2011) obtuvieron valores de 13.00%, 12.3%, 13.15% y 13.7% en las variedades Kibangou, Zebda, Tommy Atkins y Azúcar. Se puede observar que según la variedad el porcentaje de grasa difiere así mismo en función al grado de madurez es diferente a un menor grado de madurez se presenta un menor porcentaje de grasas. Nzikou et al. (2010) refieren que el contenido de grasa presente en la almendra del mango depende de muchos factores, tales como: variedad de la planta, el clima de la zona de cultivo, fase de maduración, tiempo de recolección de los granos de las semillas y el método de extracción del aceite.

Según Basilio J. (2009), es factible extraer hasta 12 por ciento de grasa de la almendra de mango mediante el uso de métodos mecánicos y químicos (solos o combinados), con características de calidad similares entre sí, y semejantes

en composición y funcionalidad a otros aceites (como por ejemplo el aceite o manteca de cacao), y asegura que el contenido graso en la almendra depende de las variedades y condiciones climáticas.

#### 4.3. Extracción del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.)

La extracción de los aceites se realizó por el método de prensado en frío en el equipo expeller, seguidamente se calculó el rendimiento del aceite de almendra de mango obtenido en cada variedad y grado de madurez en base a 1 kg de almendra seca y molida.

Tabla 11.

*Rendimiento en la extracción por prensado en frío del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Rendimiento (%)
Edward	Pintón	10.6567 ± 0.1901*
	Maduro	11.1367 ± 0.0907*
Kent	Pintón	7.7967 ± 0.1332*
	Maduro	8.5567 ± 0.1823*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen repeticiones c/u.

En cuanto a los porcentajes obtenidos en el rendimiento de la extracción de aceite de almendra de mango para las variedades Kent y Edward en sus dos grados de madurez se aprecia que los valores se encuentran entre 7.7976 % y 11.1367%. Siendo la variedad Edward en sus dos grados de madurez quien obtuvo un mayor rendimiento en la extracción de aceite a comparación de la variedad Kent. Se observa en la tabla que para la variedad Kent el porcentaje de extracción se ubica entre 7.7% y 8.5%, coincidiendo con lo reportado por Silva (2018) quien obtuvo un porcentaje cercano a 8% para la variedad Kent mediante extracción por prensado en frío. Los rendimientos obtenidos en la variedad Edward también son parecidos a lo especificado por Matos & Pirela (2014) quienes obtuvieron rendimientos entre

9 y 11% para las variedades de mango Tetenene y Pico de Loro mediante extracción con solventes. Rodríguez (2014) menciona que el aceite de almendra de mango arroja un mayor rendimiento mediante extracción con solventes alcanzando valores del 12%. Mientras que en métodos mecánicos tiene un rendimiento alrededor del 8 al 10%. Esto puede ser a causa de que en la extracción la torta que sale como residuo aún contiene aceite, disminuyendo el rendimiento en la extracción.

A pesar de que el rendimiento con solventes sea mayor al mecánico la ventaja de nuestros datos radica en la técnica, ya que no existe contaminación de solventes en el aceite, dejando residuos en el olor del aceite, siendo este 100% puro, y ya no sería necesario una operación de refinación al aceite que hace que disminuya la cantidad. En la actualidad se prioriza más otras posibilidades de extracción que no conlleven a usar solventes orgánicos y ayude a reducir los costos de producción, así como el tiempo en la extracción (Rodríguez, 2014).

Jahurul et al. (2014) encontraron valores de rendimiento 11.29% para el aceite de almendra de mango variedad Water Lily extraído con fluidos supercríticos (CO<sub>2</sub>). Sikdar et al. (2017) encontró un rendimiento de 17.3ml de aceite por cada 1kg de aceite de almendra de mango mediante extracción con solvente por soxhlet. Rojas & Burbano (2011) muestran valores de rendimiento entre 8% a 10% para las variedades Tommy y Azúcar, obtenidas mediante extracción con y sin enzima, obteniendo mayor rendimiento en la extracción la muestra que fue tratada sin la enzima. Los autores relatan que esto puede haberse dado por la composición entre las dos variedades, ya que la enzima rompe la estructura celular permitiendo que el aceite salga de una manera más fácil y como un pre tratamiento antes de la extracción con solventes aumenta el rendimiento. A comparación del método por prensado en frío es que un tratamiento con enzimas te puede llevar más tiempo en

la obtención de resultados, además que suele ser más costoso. Por otro lado los valores que obtuvimos son menores a lo reportado por Moya (2017), quien estableció un rendimiento de 12.8% en la extracción del aceite de mango con prensa hidráulica, la fuerza hace que se rompan las paredes celulares de la semilla obteniéndose el aceite y la torta de prensado, la cual aún contiene aceite residual.

Dichas variaciones en el rendimiento o en los niveles de aceite encontrados en la extracción en este estudio comparados con otros autores también se podrían atribuir a que cada localidad donde se realizó el estudio del aceite con almendra de mango es diferente, variando en condiciones agroclimáticas empleadas para su cultivo.

En base a lo antes mencionado se comprueba que para la extracción de aceite de almendra de mango se han experimentado técnicas tanto químicas como mecánicas, por ejemplo prensado en frío, tratamientos con enzimas, uso de solventes, sonicación y la prensa hidráulica, demostrándose que los rendimientos pueden variar significativamente de acuerdo al método usado, inclusive se puede dar la combinaciones de procesos. La elección de la técnica a usar va a depender no solo del contenido de grasa en la semilla como lo menciona Moya (2017), quien recomienda usar equipos de fuerza mecánica como prensas para semillas con un porcentaje mayor del 20% en contenido de grasa, y para semillas con un contenido de grasa menor a 20% en grasa recomienda procesos de extracción con solventes o enzimas; también va a depender del presupuesto manejado en la investigación, siendo los métodos por prensado los más baratos. El rendimiento del producto final depende de varios factores, como el proceso de extracción, los parámetros físicos y el refinado del aceite (Mahale & Goswami-Giri, 2011).

A continuación se muestran las tablas y gráficos que demuestran si existe o no significancia en los valores obtenidos para la extracción de aceite.

#### 4.3.1. Análisis de varianza para el rendimiento de extracción de aceite.

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) para el rendimiento en la extracción del aceite de almendra de mango, el factor A representa a las variedades estudiadas Kent y Edward, y el factor B es el grado de madurez aplicado a este estudio pintón y maduro, con un nivel de significancia al 95%.

Tabla 12.

*Análisis de varianza para el rendimiento en la extracción de aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR -P</i>
A:Variedad	22.1952	1	22.1952	931.27	0.0000
B:Grado madurez	1.1532	1	1.1532	48.39	0.0001
AB	0.0588	1	0.0588	2.47	0.1549
Residuos	0.190667	8	0.0238333		
Total (corregido)	23.5979	11			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

Se observa que los valores – P de ambos factores muestran significancia estadística, P es menor a 0.05, con respecto a la variedad y al grado de madurez con un 95% de nivel de confianza., por lo que se confirma lo discutido en la tabla 12 que la variedad y el grado de madurez en el que se encuentre el fruto si son factores relevantes e importantes, e influyen en el análisis de densidad relativa.

#### 4.4. Análisis al aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.)

Se caracterizó fisicoquímicamente el aceite de almendra de mango obtenido en cada variedad y grado de madurez, reportando los siguientes valores para cada análisis:

#### 4.4.1. Densidad relativa

La siguiente tabla muestra los resultados encontrados en la prueba física de densidad realizada al aceite de almendra de mango para ambas variedades y grados de madurez. La prueba se realizó mediante el método del picnómetro a temperatura de 20°C, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 13

*Densidad relativa del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Edward	Pintón	0.9053 ± 0.0006*
	Maduro	0.9103 ± 0.0016*
Kent	Pintón	0.9072 ± 0.0009*
	Maduro	0.9155 ± 0.0012*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Se observa que los valores de densidad para ambas variedades y grados de madurez se encuentran en un intervalo de 0.9053g/cm<sup>3</sup> y 0.9155g/cm<sup>3</sup>. No encontrándose una elevada desviación estándar entre los valores. Comparando con la literatura científica, López (2013) comparó el aceite de 20 variedades de mango combinando dos procesos en la extracción, con enzimas y prensado, y obtuvo una densidad con valor de 0.9082 g/cm<sup>3</sup> para la variedad Edward, y para el resto de variedades las densidades relativas se encuentran en el rango de: 0.9057g/cm<sup>3</sup> - 0.9119g/cm<sup>3</sup>. Encontrándose estos valores muy cercanos a lo obtenido en esta investigación. Rojas & Burbano (2011) reportan una densidad de 0.96 g/cm<sup>3</sup> en el aceite de almendra de mango en las variedades Tommy y Azúcar, por extracción con solvente; Matos & Pirela (2014) encontraron valores de 0.9110g/cm<sup>3</sup> y 0.9105g/cm<sup>3</sup> en las variedades de mango Tetenete y Pico Loro obtenidos mediante extracción enzimática y con

ultrasonido. También Mahale & Goswami-Giri (2011) estudiaron al aceite de almendra de mango en la variedad Alphonso obtenido mediante extracción con solvente en el equipo soxhlet, comparando el aceite refinado con el crudo, encontrando el mismo valor en la densidad relativa de  $0.910 \text{ g/cm}^3$  en cada tipo de aceite. Mas' ud et al. (2017) analizaron el aceite de almendra de mango variedad Arumanis extraído mediante Soxhlet con dos diferentes solventes, hexano y etanol, encontrando una densidad de  $0.83 \text{ g/cm}^3$  y  $0.85 \text{ g/cm}^3$  respectivamente; estos valores son menores a los obtenidos en las muestras de aceite de esta investigación.

De acuerdo a estos criterios se puede afirmar lo dicho por Ochoa et al. (2012) que la densidad se ve influenciada por la naturaleza del aceite, es decir la densidad de un aceite es la suma de las densidades de los componentes del aceite por el porcentaje de cada componente presente en el aceite, y en este caso aunque los valores reportados de la densidad sean sobre el aceite de mango la variedad de cada mango difiere, y cada variedad tiene porcentajes diferentes de cada elemento en su estructura o composición, haciendo que el aceite de cada variedad sea único y por lo tanto presente características típicas únicas. Cada tipo de aceite tiene una densidad única dependiendo de la composición de los ácidos grasos del aceite. También otra explicación en base a las comparaciones de las densidades obtenidas con las reportadas por otros autores está dada por López (2013) quien afirma que la diferencia podría ser debido a la influencia del proceso de extracción, por ejemplo en el proceso con solvente pueden haberse quedado residuos de solvente afectando ligeramente en los análisis físicos del aceite; o también con el uso de métodos con altas temperaturas hace que el valor de la densidad difiera.

Comparando con otros aceites vegetales, el CODEX STAN 33-1981 establece para la densidad del aceite de oliva establece un intervalo entre 0,90 g/cm<sup>3</sup> - 0,96 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, y para el aceite de coco el CODEX STAN 210-1999 otorga valores de 0.908 g/cm<sup>3</sup> a 0.921 g/cm<sup>3</sup> a 20°C. Tomando como referencia estos valores se podría considerar que la densidad del aceite de almendra de mango es menor que otros aceites vegetales, algunos estudios reportan que mientras menor sea la densidad en un aceite vegetal este es mejor, ya que es más digerible, lo que hace que también sea menor el punto de fusión y el grado de insaturación.

Medina (2011) nos dice que la densidad es una característica física de los aceites y grasas, que no requiere para su medición la aplicación de reacciones químicas, y aumenta al disminuir el peso molecular de los ácidos grasos y al aumentar las insaturaciones, por lo que se relaciona que al disminuir la densidad el aceite la calidad del aceite es mejor. Por lo que es de suma importancia determinarlo, ya que junto a otros parámetros como al índice de refracción ayuda a determinar otras características del aceite, como el punto de fusión (Soto, 2011).

#### ***4.4.1.1. Análisis de varianza para densidad relativa***

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) para el análisis fisicoquímico de densidad relativa en el aceite de almendra de la semilla de mango, el factor A representa a la variedad, Kent y Edward, y el factor B es el grado de madurez, pintón y maduro, con un nivel de significancia al 5%.

Tabla 14.

Análisis de Varianza para densidad relativa en el aceite de almendra de mango.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR -P
A:Variedad	0.0000245	1	0.0000245	19.48	0.0116
B:Grado madurez	0.000088445	1	0.000088445	70.33	0.0011
AB	0.000005445	1	0.000005445	4.33	0.1059
Residuos	0.00000503	4	0.0000012575		
Total (corregido)	0.00012342	7			

Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La tabla 14 demuestra los resultados obtenidos de la suma de cuadrados tipo III de los valores de densidad para ambas variedades y grados de madurez por el programa Statgraphic. Se puede observar que existe diferencia significativa en los valores de variedad y grado de madurez, para la densidad relativa en el aceite de almendra de la semilla de mango, mas no para las interacciones entre ambos factores. La interacción de los factores solo es el resultado de la suma de las combinaciones de las diagonales de los valores de densidad en ambas variedades y grados de madurez, siendo el resultado no tan representativo para el análisis.

#### 4.4.2. Índice de refracción

La tabla 15 reseña los valores obtenidos para la prueba física para determinar el índice de refracción en el aceite de almendra de mango en las 2 variedades y los 2 grados de madurez. Se realizó la prueba en el equipo refractómetro digital automático a una temperatura de 20°C.

Tabla 15

*Índice de refracción en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Índice de refracción
Edward	Pintón	1.4561 ± 0.0004*
	Maduro	1.4592 ± 0.0005*
Kent	Pintón	1.4568 ± 0.0006*
	Maduro	1.4642 ± 0.0010*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Se evidencia que los índices de refracción para el aceite de almendra de mango se encuentran en el rango de 1.4561 a 1.4642, existiendo una mínima desviación estándar entre los valores. El índice de refracción es característico para el aceite dentro de ciertos límites porque lo que es un indicador de pureza del aceite, el cual disminuye con la disminución del índice de yodo ya que este valor está relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación (Soto, 2011). Rojas & Burbano (2011) encontraron valores de 1.468 y 1.467 de índice de refracción para el aceite de almendra de mango con las variedades Tommy y Azúcar respectivamente en extracción con solvente y enzima, siendo mayores a los valores encontrados en esta investigación. Muchiri (2012) encontró valores desde 1.4562 a 1.4597 en el aceite de almendra de mango de la variedad Kent coincidiendo con el valor de Kent pintón reportado en esta investigación. Mas' ud et al. (2017) encontraron un valor de 1.46 para el índice de refracción en aceite de almendra de mango variedad Arumanis extraído con solvente hexano, coincidiendo con los valores reportados en la tabla 15. Silva (2018) obtuvo un índice de refracción de 1.461

para el aceite de almendra de mango variedad Kent mediante extracción por prensado en frío, siendo este dato similar al encontrado en esta investigación en el aceite de almendra de mango variedad Kent en grado de madurez maduro. Matos & Pirela (2014) encontraron valores de índice de refracción de 1.4644 y 1.4640 en las variedades de mango Tetenete y Pico Loro respectivamente mediante extracción enzimática y con ultrasonido. Estos valores son mayores a los índices de refracción encontrados en esta investigación. Olagunju (2013) obtuvo un valor de 1.45 de índice de refracción para el aceite de almendra de mango extraído por Soxhlet con éter de petróleo, existiendo una similitud con los valores encontrados en esta investigación para el aceite de almendra de mango variedad Edward en grado de madurez pintón.

Estas investigaciones evidencian que el resultado dependerá del carácter, naturaleza o estado de la muestra, como se observa no existe una gran diferencia en el índice de refracción entre todos los valores reportados por otros autores y los valores reportados en este trabajo de investigación para el aceite de almendra de mango, ya que se encuentran cercanos en el rango de 1.45 a 1.468.

La norma internacional CODEX STAN 33-1981 otorga para el aceite de oliva un rango entre 1.4677 a 1.4705 para el índice de refracción, siendo estos valores elevados para el índice de refracción del aceite de almendra de mango, esta diferencia tiene que ver con el carácter o composición intrínseca de los aceites; mientras que el CODEX STAN 86-1981 establece para la manteca de cacao valores entre 1.4530 y 1.4578, es por ello que se puede afirmar que los valores para el índice de refracción del aceite de almendra de mango obtenidos en la

variedad Edward en la presente investigación son similares a los valores establecidos para la manteca de cacao.

Silva (2018) nos dice que el índice de refracción en aceites y grasas es muy importante, ya que ayuda a determinar de manera cuantitativa y cualitativa la presencia de ácidos grasos saturados; este valor está ligado a la instauración de los ácidos grasos, aumentando conforme aumenta el grado de insaturación y el porcentaje de ácidos insaturados. Así como el incremento del peso molecular de los ácidos grasos. El índice de refracción es un indicador de la garantía de calidad que analiza la estabilidad del aceite durante el tratamiento térmico y el nivel de saturación del aceite.

#### 4.4.2.1. Análisis de varianza para índice de refracción

Se realizó el análisis ANOVA con un nivel de significancia del 95% para el índice de refracción en el aceite de almendra de mango.

Tabla 16.

*Análisis de Varianza para índice de refracción en el aceite de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN -F</i>	<i>VALOR -P</i>
A:Variedad	0.0000165025	1	0.0000165025	37.04	0.0037
B:Grado madurez	0.000055704	1	0.000055704	125.03	0.0004
AB	0.000009181	1	0.00000918	20.61	0.0105
Residuos	0.000001782	4	4.45538E-7		
Total (corregido)	0.000083169	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

El análisis de varianza (ANOVA) demuestra que sí hay diferencia significativa al 95% entre todos los valores hallados en el índice de refracción del aceite de almendra de la semilla de mango, esto quiere decir que ambos factores es decir variedad y grado de madurez son significativos para el análisis, el cual es un parámetro muy importante en la calidad del aceite ya que junto a la densidad y el punto de fusión

nos da una idea de cuál es la pureza del aceite, y si hubo fraude o no en su composición.

#### 4.4.3. Índice de acidez

La tabla 17 detalla los resultados obtenidos en la prueba de índice de acidez del aceite de almendra de mango según variedad (Edward y Kent) y el grado de madurez (pintón y maduro), obtenidos mediante evaluación con titulación.

Tabla 17  
*Índice de acidez en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Índice de acidez (%)
Edward	Pintón	1.1856 ± 0.08*
	Maduro	1.4813 ± 0.0602*
Kent	Pintón	1.3976 ± 0.0999*
	Maduro	1.6789 ± 0.1397*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

\*Resultados expresados en porcentaje de ácido oleico.

El índice de acidez titulable obtenidos de las aceites de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 1.1856% y 1.4813% respectivamente; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 1.3976% y 1.6789% respectivamente, comparándolos con los valores reportados por los autores Matos & Pirela (2014), Silva (2018), Abdalla et al. (2007) y López (2013), quienes obtuvieron valores de 1.26%, 1.4%, 1.22% y 1.832% en las variedades Tetenene, Kent, Zebda y Edward respectivamente, así mismo se obtienen valores más altos reportados por los autores Nzikou et al. (2010), Rojas & Burbano (2011) y Rodríguez (2014) quienes obtuvieron valores de 3.93%, 5.00%, y 7.00% en la variedad Kibangou, Tommy Atkins y Kala Alphonso respectivamente. Estos valores obtenidos se encuentran en el rango permitido por la CODEX STAN 210-1999

para aceites y grasas vegetales prensados en frío que menciona un valor de 4.0 mg de KOH/g de aceite para aceites prensados en frío y vírgenes. Además que obteniendo dichos valores y compararlos con la norma para la manteca de cacao CODEX STAN 86-1981, el cual nos indica que permite un contenido de acidez no mayor a 1.75%, por lo tanto con los resultados obtenidos se nos hace posible utilizarlo como ingrediente para la fabricación de chocolate y productos de chocolate y estos valores nos permiten su uso directo en la industria de alimentos sin necesidad de neutralización (Abdalla et al., 2007). Estos valores la hacen que el aceite esté menos predispuesto a la degradación oxidativa y rancidez por la baja presencia de ácidos grasos libres, los altos valores de acidez indican la posible hidrólisis sufrida como resultado de la descomposición lipolítica de triglicéridos. Otros posibles factores que pudieron alterar la estabilidad de la grasa fueron el almacenamiento no adecuado de las muestras, que incluye la variación de la temperatura o la exposición a la luz (FAO, 2015). Con el índice de acidez se puede determinar el grado de descomposición del aceite o de la grasa, ya sea por acción de las lipasas o por otra causa, en donde la luz y las temperaturas altas aceleran este proceso (Herrera et al., 2003).

Las grasas y aceites están formados por ácidos grasos libres en su composición, pero algunos aceites o grasas los contienen en porcentajes más elevados. Los ácidos grasos libres existen debido a la actividad enzimática de las lipasas. Las enzimas lipolíticas se encuentran ubicadas en el embrión y el mesocarpio de la semilla o fruto oleaginoso. Es por eso que el aceite de palma y de arroz, generalmente presentan una acidez elevada; pero también los aceites o grasas que son extraídos de frutos o semillas en mal estado, y los aceites almacenados durante un largo tiempo presentan alta acidez (Cadena et al., 2013).

#### 4.4.3.1. Análisis de varianza para índice de acidez

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de índice de acidez en el aceite de almendra de la semilla de mango, el factor A representa a la variedad, Kent y Edward, y el factor B es el grado de madurez, pintón y maduro, con un nivel de significancia al 95% de confianza.

Tabla 18.  
*Análisis de Varianza para índice de acidez en el aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN -F</i>	<i>VALOR -P</i>
A:Variedad	0.0861125	1	0.0861125	8.82	0.0411
B:Grado madurez	0.165313	1	0.165313	16.93	0.0147
AB	0.0001125	1	0.0001125	0.01	0.9197
Residuos	0.03905	4	0.0097625		
Total (corregido)	0.290588	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

En la tabla 18, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para el índice de acidez, el factor “A” representa la variedad, la cual consta de dos niveles y el factor “B” representa el grado de madurez, la cual también consta de dos niveles. La significancia del efecto fue determinado usando el valor p ( $P < 0,05$ ), donde el valor p menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor p indica que la variedad y el grado de madurez es significativa, las cuales tienen un efecto notorio en el índice de acidez. Por lo tanto al tener un valor p menor a 0.05 demuestra que la variedad y el grado de madurez tienen un efecto estadísticamente sobre el índice de acidez del aceite de almendra de mango con un 95% de nivel de confianza.

#### 4.4.4. Índice de peróxidos

Se presentan los datos obtenidos en la determinación del índice de peróxidos para el aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro, en la siguiente tabla:

Tabla 19

*Índice de peróxidos en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Índice de peróxidos ( meqO <sub>2</sub> /Kg)
Edward	Pintón	0.898 ± 0.0317*
	Maduro	1.066 ± 0.0158*
Kent	Pintón	0.987 ± 0.0160*
	Maduro	1.251 ± 0.0555*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Con respecto al índice de peróxidos se observa que se obtuvieron valores en el rango de 0.8980 meqO<sub>2</sub>/Kg - 1.2510 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de mango en variedad Edward y Kent, y en grados de madurez pintón y maduro, estos valores no superan al valor establecido por el CODEX – STAN 2010-1999 para aceites vegetales prensados en frío de hasta máximo 15 meqO<sub>2</sub>/Kg. El CODEX STAN 86-1981 establece para la manteca de cacao un valor como máximo de hasta 3 meqO<sub>2</sub>/Kg, encontrándose los valores del aceite de almendra de la semilla de mango en ambas variedades y grados de madurez por debajo de 3 meqO<sub>2</sub>/Kg, lo que indica la buena calidad del aceite y de la almendra de mango de donde se extrajo el aceite.

El índice de peróxidos es el indicador más usado para medir la rancidez oxidativa de un aceite o grasa, porque ocurre como consecuencia de una oxidación primaria formando hidroperóxidos, y otros peróxidos pero en menor cantidad. Este determina la cantidad total de hidroperóxidos contenidos en la

muestra de aceite. En otras palabras, es una reacción entre los lípidos y el oxígeno, que desata una reacción en cadena de radicales libres (Soto, 2011).

La oxidación se produce principalmente en los ácidos grasos esenciales siendo los ácidos poliinsaturados los primeros en sufrirla, y como consecuencia de la reacción se forman compuestos volátiles, olores y sabores desagradables en el aceite (Franco, 2014).

López (2013) analizó 20 variedades de mango donde establece un rango de 0.76 - 3.1 meqO<sub>2</sub>/Kg para el índice de peróxidos, los valores obtenidos para ambas variedades y grados de madurez se encuentran dentro de esos límites lo que indica la estabilidad del aceite ante la oxidación. Zambrano et al. (2017) reportaron un índice de peróxidos de 1.278 meqO<sub>2</sub>/Kg en el aceite de almendra de mango mediante extracción con solventes, y Mas' ud et al. (2017) establecieron valores de 1.83 meqO<sub>2</sub>/Kg y 2.35 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de mango variedad Arumanis extraído con dos tipos diferentes de solvente, hexano y etanol respectivamente. Estos son valores más elevados a los valores obtenidos en ambas variedades y grados de madurez.

Olagunju (2013) encontró valores de 1.20 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de mango extraído por soxhlet con éter de petróleo, al igual que Fahimdanesh & Bahrami (2013) encontraron un índice de peróxidos de 1.2 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de mango variedad Iraní extraído con hexano mediante el equipo soxhlet. Siendo estos datos menores al índice de peróxidos variedad Edward y los dos grados de madurez, pero mayor para el aceite variedad Kent en grado de madurez maduro.

Por otro lado Abdel et al. (2012) reportaron un valor de peróxidos de 2.782 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de la semilla de mango variedad Zebda,

extraído con solventes. Siendo este valor mucho mayor a los reportados en esta investigación para el aceite de almendra de mango en las dos variedades y grados de madurez.

Entre los índices de peróxidos para aceites comestibles más usados encontramos valores de 1 a 4 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de palma crudo, de hasta 10 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de palta, de hasta 5 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de maíz, y de hasta 20 meqO<sub>2</sub>/Kg para los aceites de oliva vírgenes según el CODEX STAN 33-1981. Encontrándose el índice de peróxidos del aceite de almendra de mango en un rango menor a comparación de los otros aceites.

Con los referentes antes expuestos se puede visualizar la variabilidad en el índice de peróxidos del aceite de la almendra de semilla de mango de diferentes variedades y grados de madurez, pero a su vez ningún valor supera los 3 meqO<sub>2</sub>/Kg, esto corrobora lo explicado por Kittiphoom & Sutasinee (2013) que establece que el aceite de mango tienen un valor de peróxido más bajo en comparación a otros aceites vegetales, esto se puede atribuir a la existencia de una mayor concentración de fenoles y una composición equilibrada de ácidos grasos. También se puede asociar que a niveles más bajos de índice de peróxidos le corresponde un periodo de inducción más alto.

Otra perspectiva en la comparación de los resultados obtenidos con la literatura científica se demuestra que el aceite de almendra de mango en sus dos variedades y en los dos grados de madurez no es rancio por lo que se considera estable. La variedad y el grado de madurez tienen gran influencia en el índice de peróxidos ya que el grado de insaturación depende mucho de los factores genéticos, y de los factores agronómicos, como las condiciones de cultivo (Franco, 2014).

Las diferencias en los valores de índice de peróxidos pueden deberse a que durante la primera etapa de oxidación, se observa algunas veces como el IP se eleva, y a medida que los hidroperóxidos se descomponen, disminuye el IP (Mata, 2017).

Los valores elevados indican que el aceite tiene una alta probabilidad de que ya esté rancio, incluso así aún no haya pasado demasiado tiempo almacenado debido a la temperatura usada en la extracción puede haber generado un aumento en la cantidad de oxígeno en la muestra, además los aceites que tienen un elevado contenido en ácidos grasos insaturados presentan mayor velocidad en la oxidación y por ende un alto grado de insaturación, inclusive los insaturados se oxidan estando almacenados en congelación (Gergoff, 2016).

#### 4.4.4.1. Análisis de varianza para índice de peróxidos

Los resultados obtenidos en el análisis de peróxidos del aceite de almendra de mango fueron sometidos al análisis estadístico ANOVA.

Tabla 20.  
*Análisis de Varianza para el índice de peróxidos del aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR-P</i>
A:Variedad	0.0378125	1	0.0378125	32.53	0.0047
B:Grado madurez	0.0903125	1	0.0903125	77.69	0.0009
AB	0.0045125	1	0.0045125	3.88	0.1201
Residuos	0.00465	4	0.0011625		
Total (corregido)	0.137287	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

La tabla 20 demuestra la significancia de los factores variedad y grado de madurez en el análisis de varianza (ANOVA) a un 95% de confianza para el análisis fisicoquímico índice de peróxidos del aceite de almendra de mango. Los factores variedad y grado de madurez son

factores intrínsecos propios del mango es por ello que existe diferencia significativa en los resultados obtenidos ya que el grado de oxidación de cada aceite analizado, que es lo que mide el índice de peróxidos, está en función del contenido de los ácidos grasos insaturados y saturados, generalmente cuando los ácidos grasos insaturados están libres se oxidan más rápido que los saturados, estos últimos se oxidan a temperaturas mayores a 60°C. Los ácidos grasos también aumentan o disminuyen de acuerdo al grado de madurez del fruto, a la variedad, a las condiciones climáticas que se le da en el cultivo, inclusive a la zona de producción (Troncoso et al., 2006).

#### 4.4.5. Índice de yodo

En la tabla 21 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico índice de yodo determinado mediante el método de hanus: cloroformo, realizado al aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en dos grados de madurez pintón y maduro.

Tabla 21  
*Índice de yodo en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Índice de yodo (g I <sub>2</sub> /g aceite)
Edward	Pintón	22.8227 ± 0.2507*
	Maduro	23.4772 ± 0.0692*
Kent	Pintón	23.3804 ± 0.1006*
	Maduro	24.3053 ± 0.0855*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 3 repeticiones c/u.

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa. Será tanto mayor cuanto mayor sea el número de dobles enlaces por unidad de grasa, se utiliza para comprobar la pureza y la identidad de las

grasas (Rodríguez, 2014). El índice de yodo obtenidos de las aceites de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 22.8227g I<sub>2</sub>/g aceite y 23.4772g I<sub>2</sub>/g aceite; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 23.3804g I<sub>2</sub>/g aceite y 24.3053g I<sub>2</sub>/g aceite, comparándolo con los valores reportados por los autores Pascual et al. (2008), y López (2013) quienes obtuvieron valores de 25.20g I<sub>2</sub>/g aceite, 25.87g I<sub>2</sub>/g aceite, 24.5g I<sub>2</sub>/g aceite, 22.22g I<sub>2</sub>/g aceite y 23.44g I<sub>2</sub>/g aceite en las variedades Ataulfo, Edward, Rosa, Lorito y Chancleto respectivamente; así mismo se obtienen valores más altos reportados por los autores Silva (2018), Nzikou et al. (2010), Rojas y Burbano (2011) y Matos & Pirela (2014) quienes obtuvieron valores de 41.2g I<sub>2</sub>/g aceite, 43.0g I<sub>2</sub>/g aceite, 46.69g I<sub>2</sub>/g aceite, 60.86g I<sub>2</sub>/g aceite en la variedad Kent, Kibangou, Tommy Atkins y Pico de Loro. Contrastando los valores de la manteca de cacao dados por el CODEX STAN 86-1981, el cual permite un mínimo de 32g de yodo/100 g grasa o aceite, y máximo 41g de yodo/100 g grasa o aceite, los valores obtenidos son ligeramente menores a lo establecido en el rango. El CODEX STAN 210-1999 establece un índice de yodo al aceite de coco entre 6.3g de yodo/100 g grasa o aceite, y 10.6g de yodo/100 g grasa o aceite, y teniendo en cuenta que un valor alto en el índice de yodo, indica menor presencia de ácidos grasos saturados, se concluye que el aceite de mango posee menos ácidos grasos saturados que el aceite de coco; se debe recordar que índices altos de yodo muestran que el aceite tiene un alto valor nutricional debido a la composición de ácidos grasos insaturados (omega 3, 6, entre otros). Comparando con valores indicados por Soto (2011), el índice de yodo del aceite de almendra de mango es inferior al

de otros aceites utilizados comúnmente como el de palma (55g I<sub>2</sub>/g aceite), oliva (84g I<sub>2</sub>/g aceite), soja (134g I<sub>2</sub>/g aceite) y girasol (132g I<sub>2</sub>/g aceite).

El índice de yodo es un indicador de la pureza del aceite ya que mide las insaturaciones presentes en los ácidos grasos del aceite, generalmente se relaciona a este índice con el punto de fusión y densidad del aceite. Los aceites que contengan mayor cantidad de ácidos grasos insaturados tendrán un alto grado de insaturación y una mayor inclinación a reacciones oxidativas de deterioro en consecuencia habrá una pérdida de la estabilidad oxidativa en el aceite (Pascual et al., 2008).

#### 4.4.5.1. Análisis de varianza para índice de yodo

En la tabla 22 se muestra la significancia de los valores obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) realizado para el índice de yodo en el aceite de almendra de semilla de mango.

Tabla 22.

*Análisis de Varianza para índice de yodo en el aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR-P</i>
A:Variedad	0.9522	1	0.9522	45.07	0.0026
B:Grado madurez	1.2482	1	1.2482	59.09	0.0015
AB	0.03645	1	0.03645	1.73	0.2593
Residuos	0.0845	4	0.021125		
Total (corregido)	2.32135	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

El factor “A” representa la variedad, la cual consta de dos niveles Edward y Kent, y el factor “B” representa el grado de madurez, la cual también consta de dos niveles pintón y maduro. La significancia del efecto fue determinado usando el valor p ( $P < 0,05$ ), donde el valor p menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor

p indica que la variedad y el grado de madurez es significativa, las cuales tienen un efecto notorio en el índice de yodo. La presencia de insaturaciones en los aceites es debido a los mecanismos propios del fruto o semilla para fijar dobles enlaces. La biosíntesis de los ácidos grasos es afectada también por factores de la pre-cosecha como riego, luz, el suelo, y temperatura, ya que se pueden presentar mayores reacciones oxidativas que deterioran el aceite (Restrepo et al., 2012).

#### 4.4.6. Índice de anisidina

En la tabla 23 se muestran los resultados del análisis físico químico índice de anisidina, calculado midiendo absorbancias, realizado al aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en dos grados de madurez pintón y maduro.

Tabla 23

*Índice de anisidina del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Índice de anisidina ( meqO <sub>2</sub> /Kg)
Edward	Pintón	0.2967 ± 0.0223*
	Maduro	0.3773 ± 0.0274*
Kent	Pintón	0.3846 ± 0.0367*
	Maduro	0.5982 ± 0.0944*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

El índice de anisidina obtenidos de las aceites de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 0.2967 meqO<sub>2</sub>/Kg y 0.3773 meqO<sub>2</sub>/Kg; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 0.3846 meqO<sub>2</sub>/Kg y 0.5982 meqO<sub>2</sub>/Kg, comparándolos con el valor de anisidina para el aceite de quinua que tiene un valor de 25 meqO<sub>2</sub>/kg, los valores encontrados son mucho menores. De

acuerdo a Yildirim (2009), los valores del índice de anisidina se deben a todos los compuestos volátiles presentes en la fase de propagación de la oxidación de los ácidos grasos. El valor de anisidina (AV) obtenido es sólo comparable dentro de cada tipo de aceite. Por ejemplo, los aceites con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados pueden tener un mayor AV incluso estando frescos (Shahidi & Wanasundara, 2008).

El índice de anisidina es un parámetro adecuado para evaluar la historia del aceite y prever su comportamiento futuro. Cuanto mayor es un índice de anisidina menor será su tiempo de inducción, es decir, menor el período de tiempo en el que esencialmente no hay oxidación y por lo tanto, la formación de peróxidos es nula o pequeña. Cuanto mayor sea el índice de anisidina comenzara más rápido la autoxidación y se enranciará el material graso (Alberca & Huanca, 2015).

#### 4.4.6.1. Análisis de varianza para índice de anisidina

En la tabla 24 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para el índice de anisidina, el factor “A” representa la variedad, la cual consta de dos niveles y el factor “B” representa el grado de madurez, la cual también consta de dos niveles.

Tabla 24.  
Análisis de Varianza para el índice de anisidina del aceite de almendra de mango.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A: Variedad	0.0465125	1	0.0465125	16.99	0.0146
B: Grado madurez	0.0435125	1	0.0435125	15.89	0.0163
AB	0.0078125	1	0.0078125	2.85	0.1664
Residuos	0.01095	4	0.0027375		
Total (corregido)	0.108788	7			

Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La significancia del efecto fue determinado usando el valor  $p$  ( $P < 0,05$ ), donde el valor  $p$  menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor  $p$  indica que la variedad y el grado de madurez es significativa, teniendo un efecto notorio en el índice de anisidina. Por lo tanto al tener un valor  $p$  menor a 0.05 demuestra que la variedad y el grado de madurez tienen un efecto estadísticamente sobre el índice de anisidina del aceite de almendra de mango con un 95 % de nivel de confianza.

#### 4.4.7. Valor TOTOX

En la tabla 25 se exponen los resultados obtenidos en el análisis del valor o índice TOTOX para el aceite de almendra de mango en las dos variedades y en los dos grados de madurez haciendo uso de la fórmula que establece una relación entre índice de anisidina y el índice de peróxidos.

Tabla 25  
*Valor TOTOX en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Valor TOTOX (meqO <sub>2</sub> /Kg)
Edward	Pintón	2.0917 ± 0.0411*
	Maduro	2.5089 ± 0.059*
Kent	Pintón	2.3592 ± 0.0687*
	Maduro	3.0999 ± 0.2053*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Los valores TOTOX obtenidos se encuentran en un rango de 2.0917 meqO<sub>2</sub>/Kg a 3.0999 meqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de almendra de mango variedad Kent y variedad Edward, en los grados de madurez pintón y maduro, siendo el aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez maduro quien obtuvo un valor más elevado en el análisis, y el aceite de almendra de mango variedad

Edward en grado de madurez pintón obtuvo el valor más bajo a comparación de los demás aceites. Estas diferencias muchas veces están relacionadas con el contenido de ácidos grasos y el grado de insaturación del aceite (Lamas, 2014). Comparando con el valor TOTOX del aceite de pescado establecido por la IFOS (International Fish Oil Standards) dando un valor de máximo 19.5meqO<sub>2</sub>/Kg, siendo un valor mucho más alto al encontrado en esta investigación. Las diferencias pueden ser debido al origen del aceite, ya que al ser el aceite de almendra de mango de origen vegetal la composición de ácidos grasos es totalmente diferente a un aceite de origen animal, haciendo que también varíe el grado de oxidación y por ende el valor TOTOX.

Sin embargo estos valores TOTOX para el aceite de almendra de mango en ambas variedades y ambos grados de madurez son bajos debido a los bajos resultados obtenidos en el índice de peróxidos y anisidina, lo que determina las buenas condiciones en que se produjo la extracción del aceite además de la buena calidad del aceite. Llegando a la conclusión de que los aceites analizados no se encontraban en una etapa avanzada de oxidación, es decir en la etapa de propagación o terminación de la oxidación de los lípidos, sino que recién estaba empezando con la etapa de iniciación de la oxidación en los ácidos grasos, ya que no se observó un aumento en los productos secundarios de oxidación.

El valor TOTOX es un indicador muy útil en el deterioro de los aceites porque relaciona la historia pasada del aceite (índice de anisidina) con la historia actual (índice de peróxidos) para determinar el grado total de oxidación del aceite a causa de una oxidación primaria y secundaria donde se evalúan compuestos oxidativos como los peróxidos y aldehídos (Franco, 2014).

Pero en términos generales, se comprueba con los resultados obtenidos en este análisis que los aceites de almendra de mango tienen la misma tendencia que en las otras pruebas realizadas de rancidez oxidativa, lo que nos indica que los compuestos primarios y secundarios se están generando simultáneamente. Es por ello que solo determinar peróxidos o anisidina no es un indicador de precisión del estado de oxidación de aceite, ya que el índice de peróxidos se limita a determinar solo las reacciones tempranas de oxidación, mientras que el índice de anisidina determina los productos secundarios volátiles (Lamas, 2014).

#### 4.4.7.1. Análisis de varianza para valor TOTOX

Al realizarse el análisis de varianza (ANOVA) para el análisis TOTOX en el aceite de almendra de mango en ambas variedades y grados de madurez se comprobó su significancia obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 26.

*Análisis de Varianza en el valor TOTOX del aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR-P</i>
A:Variedad	0.03698	1	0.03698	26.89	0.0066
B:Grado madurez	0.6728	1	0.6728	48.93	0.0022
AB	0.0512	1	0.0512	3.72	0.1259
Residuos	0.055	4	0.055		
Total (corregido)	1.1488	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

Se determinó la significancia de los factores variedad y grado de madurez, pero no se encontró significancia en la interacción de los factores AB en el valor TOTOX del aceite de almendra de mango al 95% del nivel de confianza, lo que era de esperarse ya que el valor TOTOX es la suma del índice de anisidina más el doble del índice de

peróxidos, es decir está en una relación directa con esos análisis, y al tener resultados significantes en esos análisis por ende el valor TOTOX debería ser significativa también cosa que se comprobó en la tabla 26.

#### 4.4.8. Polifenoles totales

El análisis del contenido total de polifenoles en el aceite de almendra de mango en ambas variedades y ambos grados de madurez se desarrolló por el método de Folin – Ciocalteu obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27.

*Contenido de polifenoles totales en el aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Polifenoles totales (mgGAE/100g)
Edward	Pintón	8.5931 ± 0.7071*
	Maduro	6.2499 ± 0.0579*
Kent	Pintón	7.7867 ± 0.3291*
	Maduro	5.1063 ± 0.2638*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Según lo obtenido el contenido de polifenoles totales obtenidos de las aceites de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 8.5931mgGAE/100g de aceite y 6.2499mgGAE/100g de aceite; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 7.7867mgGAE/100g de aceite y 5.1063mgGAE/100g de aceite.

El contenido de polifenoles totales incluye los contenidos totales de flavonoides, antocianos y compuestos fenólicos no flavonoides, como los ácidos fenólicos. Para la determinación de contenido total de polifenoles se consideró la siguiente ecuación  $Y=0.0369609 X$ , con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0.999701$  (Ver anexo 4).

Los valores obtenidos comparándolos con otros autores tenemos que nuestros valores son menores al reportado por Tanilgan et al. (2007) quienes reportaron que el aceite de oliva tiene valores de 22.5mgGAE/100g de aceite a 97.1mgGAE/100g de aceite; y Lezama (2017) reporto un contenido de 53.4 mg/kg expresado en ácido gálico en el aceite de uva. Abdel et al. (2012) encontró un contenido de polifenoles totales de 21.97mgGAE/gaceite en el aceite de almendra de mango en variedad Zebda siendo mayor a los valores hallados en esta investigación, pero Kittiphoom & Sutasinee (2013) reportaron un contenido de polifenoles totales de 8.72 mg/g de aceite en el aceite de almendra de mango de una variedad tailandesa, coincidiendo con el valor encontrado en el aceite de almendra de mango variedad Edward en grado de madurez pintón. Los polifenoles están presentes en todo el reino vegetal, sus cantidades y tipos varían en función de la especie, variedad y parte del vegetal considerado (frutas, semillas, brotes, hojas, entre otros), horas de exposición solar, grado de maduración, condiciones de cultivo, entre otros factores (Almajano, 2009).

Muñoz et al. (2013) también establece que la variabilidad en los valores de polifenoles dependen de factores como el tipo o variedad de fruto, grado de maduración, y otros factores externos como condiciones agronómicas, climáticas, proceso de extracción del aceite, entre otros factores. Y también establece que la actividad antioxidante de los polifenoles depende de la localización y número de grupos hidroxilo que contiene en su estructura.

Coincidiendo con lo que planteó Franco (2014) quien explica que con el avance del grado de maduración, disminuyen los aldehídos en el fruto en beneficio de los alcoholes y compuestos fenólicos. El contenido en polifenoles alcanza un

máximo cuando la mayoría de los frutos están en la fase de cambio de color, decreciendo después; con esto, se pierden en parte las características organolépticas y el aceite tiene menor estabilidad, es decir en estado maduro su estabilidad es mayor. El contenido fenólico entrega información acerca de la calidad nutricional, estabilidad y características sensoriales del aceite.

Las propiedades biológicas de los compuestos fenólicos en el aceite de almendra de mango están científicamente comprobadas y están ligadas a la función que ejercen los polifenoles como agentes protectores cardio y hepáticos, anticancerígenos y antitumorales en el cuerpo humano, ahí radica su importancia ya que rompen las cadenas de los radicales libre por donación de un átomo de hidrógeno (Mas' ud et al., 2017)

Mas' ud et al. (2017) también explican que debido a que el aceite de almendra de mango es una buena fuente de compuestos fenólicos se puede usar como ingrediente no solo en la industria alimentaria sino también en la elaboración de jabones, champús y lociones. Los autores realizaron experimento en ratas albinas destetadas que consumieron el aceite de almendra de mango por algunos días resultando sin anomalías, sin efectos tóxicos en su salud, y tampoco elevo el contenido de colesterol en los animales.

Kittiphoom & Sutasinee (2013) explican que la almendra de la semilla de mango mostró un elevado grado en eliminación de radicales libres y en la inhibición de la tirosinasa, la cual es una enzima que cataliza la oxidación de fenoles, lo que demuestra que es una buena fuente de contenido fenólico.

#### ***4.4.8.1. Análisis de varianza para polifenoles totales***

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de la evaluación del contenido total de polifenoles en el aceite de almendra

de mango, siendo el factor A variedad, Edward y Kent, y el factor grado de madurez pintón y maduro, con el fin de conocer la significancia de estos factores en la prueba.

Tabla 28.  
*Análisis de Varianza para polifenoles totales del aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR-P</i>
A:Variedad	1.90117	1	1.90117	11.16	0.0288
B:Grado madurez	12.6182	1	12.6182	74.09	0.0010
AB	0.0568486	1	0.0568486	0.33	0.5944
Residuos	0.68127	4	0.170318		
Total (corregido)	15.2575	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

La tabla 28 demuestra la significancia que existe en los factores A y B en la determinación del contenido de polifenoles totales en aceite de almendra de mango, donde el valor p menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor p indica que la variedad y el grado de madurez es significativa, las cuales tienen un efecto notorio en el contenido de polifenoles totales con un 95% de nivel de confianza.

De acuerdo a lo antes explicado el contenido fenólico total varía considerablemente de un tipo de fruta, variedad, grado de madurez, condiciones agroclimáticas del cultivo, aspectos relacionados a la extracción y conservación del aceite, entre otros factores. Estos son de suma importancia ya que conjunto con la capacidad antioxidante mejora significativamente la estabilidad oxidativa del aceite, haciendo al aceite más resistente a la oxidación (Galvan, 2015).

#### 4.4.9. Capacidad antioxidante

En la siguiente tabla 29 se muestran los resultados de capacidad antioxidante realizado al aceite de almendra de la semilla de mango en variedades Edward y Kent, y grados de madurez pintón y maduro, mediante el método DPPH.

Tabla 29.

*Capacidad antioxidante del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ )
Edward	Pintón	$263.858 \pm 0.0890^*$
	Maduro	$172.4238 \pm 0.4290^*$
Kent	Pintón	$255.2214 \pm 0.1034^*$
	Maduro	$153.9673 \pm 0.0398^*$

\*Datos expresados como media  $\pm$  desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Los valores de capacidad antioxidante obtenidos de las aceites de las almendras de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron  $263.858 \mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$  y  $172.4238 \mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ ; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron  $255.2214 \mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$  y  $153.9673 \mu\text{mol Trolox}/100\text{g}$ .

La capacidad antioxidante de un aceite es sumamente importante en la oxidación o enranciamiento del aceite, ya que detiene la cadena radicalaria de oxidación, evitando que se oxiden los compuestos insaturados (Franco, 2014). Padilla (2008) expresa que la actividad antioxidante es la suma de la acción de compuestos bioactivos, como los polifenoles y las vitaminas en el aceite.

Factores climáticos y otros previos a la cosecha, afectan el contenido de antioxidantes. Franco (2014) afirma que la altitud a la cual crecen los árboles afecta también en la composición química de los frutos, tanto en la cantidad de los compuestos antioxidantes como en la composición cualitativa de los

mismos, lo que repercute en la calidad del aceite obtenido de la almendra de semilla de mango.

Muñoz et al. (2013) en su estudio establece que existe una relación directa en el la capacidad antioxidante y los polifenoles totales en el aceite, lo cual se comprobó comparando los resultados obtenido en contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante mediante el método DPPH para cada variedad y grado de madurez.

Abdel et al. (2012) afirman que tanto por sus compuestos fenólicos y por su capacidad antioxidante el aceite de almendra de mango se considera como un buen antioxidante natural debido a que retarda la oxidación en diferentes aceites vegetales comestibles, por lo que la almendra de la semilla de mango es un subproducto del mango prometedor como aditivo alimentario natural para extender la vida útil en algunos productos alimenticios.

Dado que el aceite de almendra de mango contiene en mayoría ácidos grasos insaturados, la presencia de tocoferoles, pigmentos carotenoides y los compuestos fenólicos que son antioxidantes naturales en un aceite vegetal hacen que el aceite sea más estable retrasando la oxidación de los ácidos grasos (Galvan, 2015).

#### ***4.4.9.1. Análisis de varianza para capacidad antioxidante***

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad antioxidante en el aceite de almendra de mango, el factor “A” representa la variedad, la cual consta de dos niveles y el factor “B” representa el grado de madurez, la cual también consta de dos niveles.

Tabla 30.

*Análisis de Varianza para capacidad antioxidante del aceite de almendra de mango.*

<i>FUENTE</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GL</i>	<i>CUADRADO MEDIO</i>	<i>RAZÓN-F</i>	<i>VALOR-P</i>
A:Variedad	367.018	1	367.018	197.53	0.0001
B:Grado madurez	18564.4	1	18564.4	9991.42	0.0000
AB	48.2155	1	48.2155	25.95	0.0070
Residuos	7.43213	4	1.85803		
Total (corregido)	18987.1	7			

*Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.*

En la tabla 30 se observa la significancia de los factores variedad y grado de madurez en la determinación de capacidad antioxidante en el aceite de almendra de mango, donde el valor p menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor p es menor a 0.05, lo que demuestra que estos factores si son significantes. La significancia de estos factores ya estaba prevista ya que concuerda con lo afirmado por Zapata et al. (2007) y Franco (2014) que establecen que la capacidad antioxidante es influenciada por factores como variedad, grado de madurez, climáticos, entre otros, inclusive la altitud a la cual crecen los árboles afecta también en la cantidad de los compuestos antioxidantes lo que repercute en la calidad del aceite obtenido de la almendra de semilla de mango.

#### **4.4.10. Perfil de ácidos grasos**

En la tabla 31 se muestran los resultados del perfil de ácidos grasos, realizado al aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en dos grados de madurez pintón y maduro, mediante el análisis en el equipo cromatógrafo de gases.

Tabla 31.  
*Perfil de ácidos grasos del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Ácidos grasos	Perfil de ácidos grasos (%)
Edward	Pintón	Palmítico	6.6695 ± 0.2496*
		Esteárico	33.9145 ± 0.0106*
		Oleico	52.449 ± 0.2701*
		Linoleico	5.7245 ± 0.0064*
	Maduro	Araquidónico	1.243 ± 0.0028*
		Palmítico	5.4085 ± 0.746*
		Esteárico	32.1545 ± 0.5042*
		Oleico	56.591 ± 2.3335*
		Linoleico	5.283 ± 0.2871*
		Araquidónico	0.5625 ± 0.7955*
Kent	Pintón	Palmítico	10.813 ± 5.2326*
		Esteárico	27.156 ± 2.769*
		Oleico	53.285 ± 3.5681*
		Linoleico	8.22 ± 0.3606*
	Maduro	Araquidónico	0.526 ± 0.7439*
		Palmítico	7.437 ± 0.1541*
		Esteárico	28.213 ± 0.1442*
		Oleico	54.7765 ± 0.5636*
		Linoleico	8.3455 ± 0.2312*
		Araquidónico	1.2285 ± 0.0346*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u

Según el perfil de ácidos grasos obtenido de los aceites de las almendras de mango el cual se muestra en la tabla 31 tenemos que el ácido graso en mayor proporción es el ácido oleico, encontrándose en la variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro valores de 52.449% y 56.591%, y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro porcentajes de 53.285% y 54.7765%; el segundo ácido graso

predominante encontrado fue el ácido esteárico en la variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro tenemos valores de 33.9145% y 32.1545% y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron 27.156% y 28.213%, en función al ácido oleico nuestros resultados fueron mayores a los reportados por los siguientes autores López (2013), Tapia et al. (2013), Nzikou et al. (2010) y Rodríguez (2014) que obtuvieron valores de 49.61%, 45.60%, 45.76% y 45.64% en las variedades Edward, Manila, Kibangou y Mariquita así mismo se obtuvo un valor mayor de Heredia (2009) con un valor de 58.22% en la variedad Keitt. Y en función al ácido esteárico nuestros resultados fueron menores a los reportados por los siguientes autores López (2013), Nzikou et al. (2010) y Rodríguez (2014) que obtuvieron valores de 34.81%, 37.94% y 36.57% en las variedades Edward, Kibangou y Mariquita. Estos valores coinciden con lo mencionado por Abdalla et al. (2007) que afirma que el ácido esteárico es el principal ácido graso saturado mientras que el ácido oleico es el ácido graso insaturado predominante. Lo cual resulta interesante debido a que el consumo de grasas poliinsaturadas se considera como alternativa más saludable frente al consumo de productos grasos saturados, así mismo se observa que los ácidos predominantes son el oleico, esteárico y palmítico ocupa más del 90% del total demostrando que el aceite de mango es similar a otras grasas naturales (Solis & Duran, 2011). López (2013) comparó el contenido de ácidos grasos de la grasa de semilla de mango con la manteca de cacao, donde evidenció diferencias principalmente en el contenido de ácidos palmítico y oleico, siendo mayor el contenido de palmítico en la manteca de cacao (26.8%) y de oleico

ligeramente menor (34.9%). Sin importar las diferencias en la composición química de la grasa de semilla de mango y la manteca de cacao, muchos autores indican las posibles aplicaciones en la industria del chocolate.

Con los datos obtenidos se demuestra que el contenido de ácidos grasos del aceite de almendra de mango difiere significativamente en función de la variedad, además de la latitud, condiciones geográficas y el grado de madurez en la recolección.

En la tabla 32 y en la gráfica 1 se muestra la proporción de los ácidos grasos saturados e insaturados presentes en el aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en dos grados de madurez pintón y maduro.

Tabla 32.

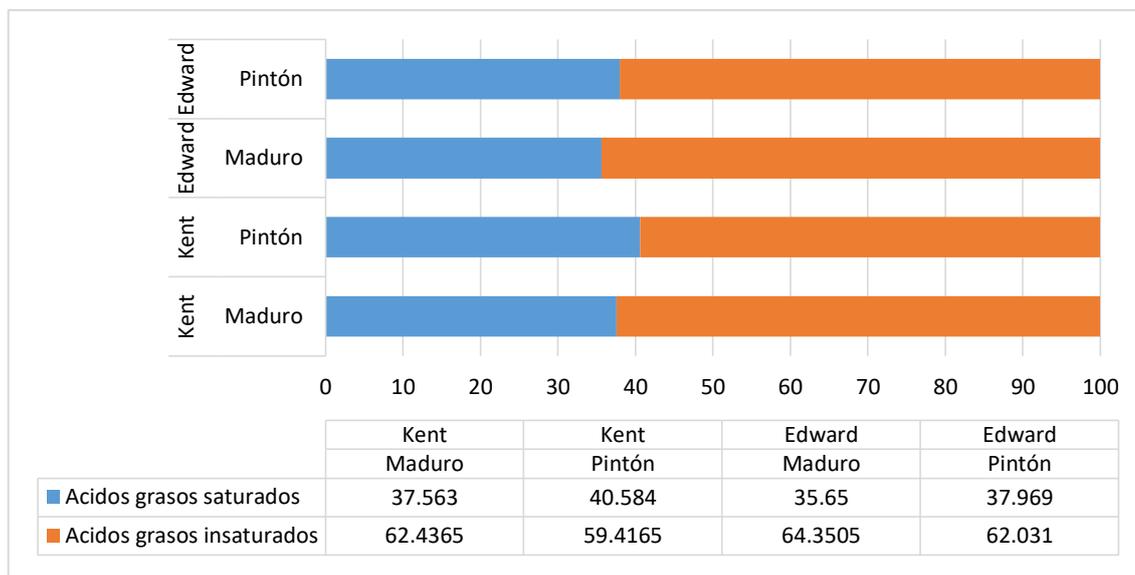
*Ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro.*

<b>Variedad</b>	<b>Grado de madurez</b>	<b>Ácidos grasos saturados (%)</b>	<b>Ácidos grasos insaturados (%)</b>
Edward	Pintón	40.584 ± 0.2602*	59.4165 ± 0.2609*
Edward	Maduro	37.563 ± 1.2502*	62.4365 ± 1.2509*
Kent	Pintón	37.969 ± 2.4636*	62.031 ± 2.4636*
Kent	Maduro	35.65 ± 0.2984*	64.3505 ± 0.2977*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Gráfico 1.

*Ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de almendra de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro.*



Según la composición de los ácidos grasos obtenidos de los aceites de las almendras de mango tenemos que los ácidos grasos saturados en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro tiene valores de 40.584% y 37.563% ,y en la variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 37.969% y 35.65% , así mismo en los ácidos grasos insaturados se obtuvieron los valores en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro de 59.4165% y 62.4365% ,y en la variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron 62.031% y 64.3505% .La composición de ácidos grasos de la semilla de mango comparada con la de los aceites vegetales indica que la grasa de semilla mango es rica en ácidos esteárico y oleico. En consecuencia, el aceite de semilla de mango es más estable que muchos otros aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados. Tales aceites parecen ser adecuados para mezclar con aceites vegetales, estearina de fabricación, la industria de confitería o en la industria del jabón (Kittiphoom & Sutasinee, 2013).

#### 4.5. Determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.)

Se determinó el índice de estabilidad del aceite de almendra de mango en ambas variedades y ambos grados de madurez en el equipo Rancimat. En las figuras de abajo se muestran los resultados de las gráficas de conductividad durante el tiempo que transcurre el análisis para temperaturas de 130°C, 140°C y 150°C a un flujo de aire de 15 L/h.

Tabla 33.

*Índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de almendra de mango a tres temperaturas.*

Variedad	Grado de madurez	Flujo	Temperatura (°C)		
			130 OSI±SD	140 OSI±SD	150 OSI±SD
Edward	Pintón	15 L/h	16.14 ± 0.4808*	6.755 ± 0.1909*	3.06 ± 0.0283*
	Maduro	15 L/h	12.6 ± 0*	6.145 ± 0.0071*	2.88 ± 0*
Kent	Pintón	15 L/h	14.96 ± 0.7212*	6.21 ± 0*	2.935 ± 0.0071*
	Maduro	15 L/h	12.375 ± 0.1344*	5.81 ± 0.2404*	2.685 ± 0.0071*

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

\*SD = Desviación estándar; OSI en horas.

A partir de los resultados mostrados en la tabla 33 se obtienen los siguientes índices de estabilidad oxidativa(OSI) de los aceites de almendras de las semillas de mango variedad Edward en los grados de madurez pintón y maduro fueron valores de OSI de 16.14h y 12.6h para 130°C, 6.755h y 6.145h para 140°C, y 2.935h y 2.88h para 150°C; y en la variedad Kent en los grados de madurez pintón y maduro fueron valores de OSI de 14.96h y 12.375h para 130°C, 6.21h y 5.81h para 140°C, y 3.06h

y 2.685h para 150°C, a un flujo de 15 L/h. Se observa que el índice de estabilidad oxidativa tiende a disminuir a mayor temperatura, esto es sumamente normal ya que la temperatura es un factor para la degradación oxidativa en el aceite. Las desviaciones no son muy elevadas lo que indica un buen procedimiento.

Navas (2010) indica que la temperatura ejerce un efecto en los valores OSI de los aceites, la velocidad de las reacciones químicas tiende a duplicarse por cada 10°C de aumento de la temperatura a la cual ellas ocurren. Este comportamiento podría atribuirse a la aceleración producida en la descomposición de hidroperóxidos de lípidos.

Los valores a temperatura de 130°C fueron altos debido a la composición del aceite de almendra de la semilla de mango que es rico en ácidos grasos saturados e insaturados, como el ácido esteárico y oleico, y a su contenido en polifenoles totales y capacidad antioxidante. Lo que permite que cumpla una importante función en la protección del cuerpo humano y permite que el aceite de almendra de mango se use también en mezclas de aceite menos estables para cocinar y freír (Abdel et al., 2012).

La oxidación de un aceite vegetal se produce por influencia de factores como el oxígeno, la luz, temperatura, enzimas y metales, haciendo que presente cambios producto de la rancidez como los organolépticos, es decir mal sabor, olor, y cambio de color; también alteración en sus propiedades fisicoquímicas, y descenso del valor nutricional del aceite (Galvan, 2015).

Por lo tanto es importante determinar la estabilidad oxidativa de un aceite o grasa con métodos rápidos y confiables a fin de precisar la vida útil y evaluar el efecto de los antioxidantes protectores del aceite (Zambrano et al., 2017).

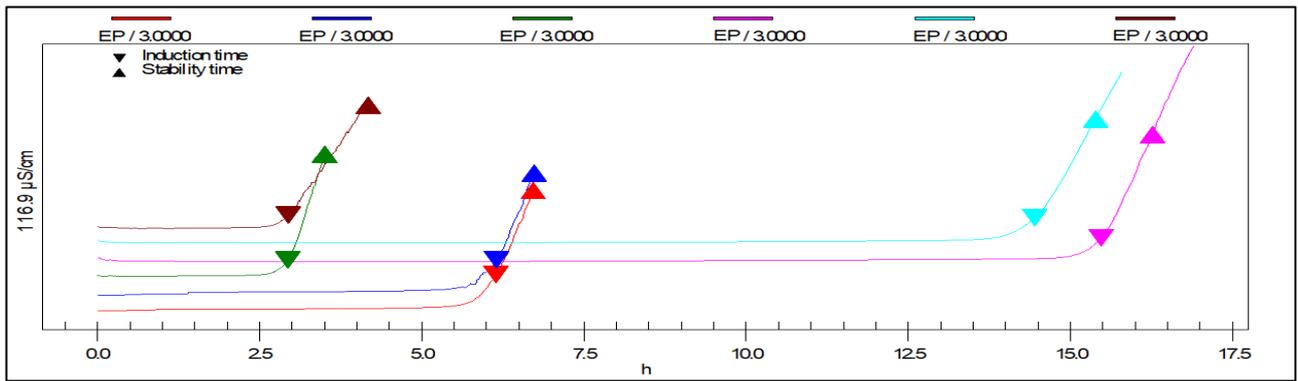


Figura 17. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez pintón a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h.

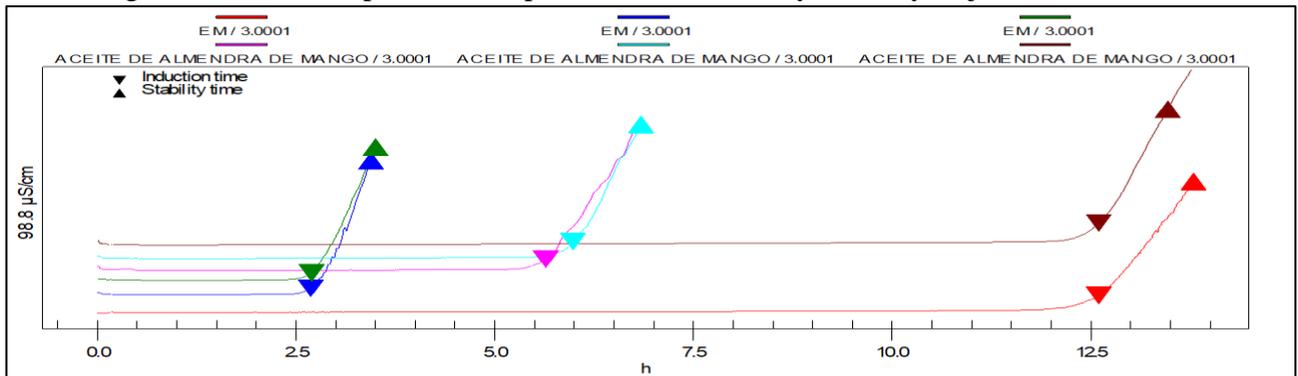


Figura 18. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez maduro a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h.

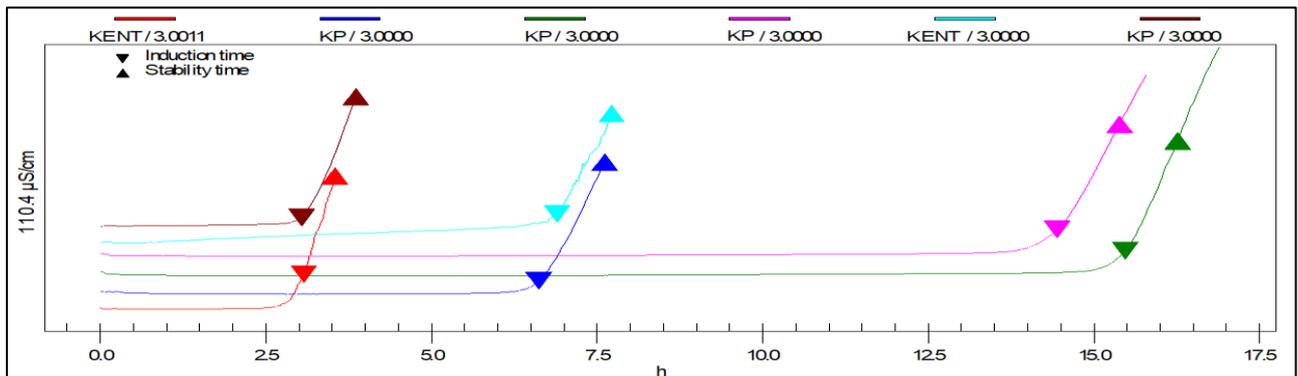


Figura 19. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez pintón a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h.

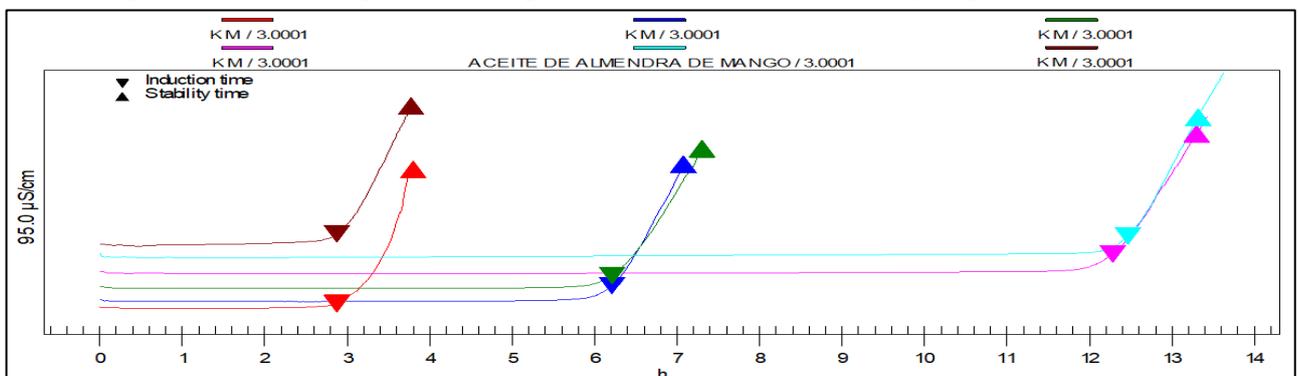


Figura 20. Conductividad eléctrica del aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez maduro a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujo de aire de 15L/h.

#### 4.5.1.1. Análisis de varianza para índice de estabilidad

En la tabla 34 se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) para el índice de estabilidad oxidativa, el factor “A” representa la variedad, la cual consta de dos niveles, el factor “B” representa el grado de madurez, la cual también consta de dos niveles y el factor “C” representa la temperatura, la cual consta de tres niveles.

Tabla 34.  
Análisis de Varianza en el índice de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Variedad	0.924337	1	0.924337	10.15	0.0066
B:Grado madurez	9.5382	1	9.5382	104.74	0.0000
C: Temp. Rancimat	521.785	2	260.892	2864.91	0.0000
AB	0.119004	1	0.119004	1.31	0.2721
AC	0.452325	2	0.226162	2.48	0.0034
BC	9.82211	2	4.91105	53.93	0.0000
Residuos	1.27491	14	0.0910649		
Total (corregido)	543.916	23			

Nota: Todas las razones – F se basan en el cuadrado medio del error residual.

La significancia del efecto fue determinado usando el valor p ( $P < 0.05$ ), donde el valor p menor indica la significancia alta del coeficiente, en este caso el valor p indica que la variedad, el grado de madurez y la temperatura son significativas, las cuales tienen un efecto notorio en el índice de estabilidad oxidativa. Por lo tanto al tener un valor  $p$  menor a 0.05 demuestra que la variedad, el grado de madurez y la temperatura tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango con un 95 % de nivel de confianza.

Se observa también en la tabla 34 que en las interacciones de los tres factores resultan significantes en la interacción de la variedad con la

temperatura, y el grado de madurez con la temperatura pero no en la interacción de grado de madurez con la variedad del mango, lo que conlleva a deducir que la temperatura del equipo Rancimat en el análisis de estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango es un factor que afecta significativamente los resultados según la variedad y el grado de madurez del mango.

El fin de este análisis Rancimat fue el de encontrar la estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango en ambos grados de madurez y en las dos variedades haciendo que la temperatura sea el factor de degradación del perfil lípido del aceite, generalmente la rancidez oxidativa se presenta por efecto de factores como la temperatura, luz, oxígeno, metales, entre otros, lo que hace que se genere el deterioro del aceite.

Los resultados mostrados determinan quien tuvo mayor índice de estabilidad oxidativa a temperatura de 130°C, 140°C y 150°C fue el aceite de almendra de mango variedad Edward en grado de madurez pintón, siguiendo el aceite de almendra de mango variedad Kent en grado de madurez pintón, seguidamente el aceite de almendra de mango variedad Edward en grado de madurez maduro, y por último el aceite de almendra de mango variedad Kent en grado de madurez maduro.

#### **4.6. Estimación de la vida útil del aceite de almendra de mango (*Mangifera indica* L.).**

Los valores de vida útil se determinaron trazando el logaritmo en la gráfica de extrapolación de los resultados del índice de estabilidad oxidativa (Ver anexo 9), el logaritmo aplicado da como resultado los siguientes valores:

Tabla 35.

*Valores de regresión lineal A y B del aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Flujo	A	B	R <sup>2</sup>
Edward	Pintón	15 L/h	575136.0799831	-0.0814046259	0.9992
	Maduro	15 L/h	291355.906572	-0.0773008914	0.9992
Kent	Pintón	15 L/h	449516.028688	-0.0793202502	0.9987
	Maduro	15 L/h	163550.3613575	-0.0728929254	0.9989

El valor de A es un coeficiente de temperatura, y el valor de B es empírico, y el valor R es un coeficiente de linealidad de los valores OSI. Los cuales sirven para poder hallar el tiempo de vida útil del aceite.

Es importante determinar la estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango mediante métodos confiables como el método Rancimat para determinar la vida útil del aceite y evaluar el efecto de sus antioxidantes.

Los resultados del tiempo de inducción en años de la prueba Rancimat del aceite de almendra de mango en ambas variedades y grados de madurez se visualizan en la siguiente tabla. Este tiempo fue dado por las gráficas de extrapolación de los resultados del índice de estabilidad oxidativa de las tres temperaturas de degradación a las que fueron sometidos los aceites, las gráficas se encuentran en el anexo 9.

Tabla 36.

*Tiempo de vida útil para el aceite de almendra de mango a 20°C.*

Variedad	Grado de madurez	Tiempo de vida útil (años)
Edward	Pintón	12.89
	Maduro	7.09
Kent	Pintón	10.5
	Maduro	4.35

Los valores de tiempo de vida útil obtenidos en el aceite de almendra de mango variedad Edward en grados de madurez pintón y maduro fueron de 12.89 años y 7.09 años respectivamente, mientras que el aceite de almendra de mango variedad Kent en grados de madurez pintón y maduro obtuvo valores de 10.5 y 4.35 respectivamente. Estos valores son considerablemente altos ya que comparando con otros aceites vegetales como el aceite de palta y sacha inchi que tienen tiempos de vida útil de 2 años a 25°C, y 1.79 años a 25°C respectivamente, los valores de vida útil de esta investigación son mucho más altos, siendo el mínimo de 4.35 años. Esta diferencia puede ser debido a la composición de ácidos grasos en cada uno de los aceites ya que el aceite de almendra de mango es conocido por tener el comportamiento típico de una grasa o manteca, siendo semisólida a temperatura ambiente, ya que su contenido en ácidos grasos saturados (más del 30%) es igual de alto que su contenido en ácidos grasos insaturados.

## RESULTADOS GENERALES DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE ALMENDRA DE MANGO

En la tabla 37 se muestran los resultados generales de la caracterización fisicoquímica del aceite de almendra de mango, para cada variedad de mango, Edward y Kent, y para cada grado de madurez, pintón y maduro.

Tabla 37

*Resultados generales de la caracterización al aceite de almendra de mango.*

Variedad	Grado de madurez	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Índice de refracción	Índice de acidez (%)	Índice de peróxidos (meqO <sub>2</sub> /Kg)	Índice de yodo (cg I <sub>2</sub> /g muestra)	Índice de anisidina (meqO <sub>2</sub> /Kg)	Valor TOTOX (meqO <sub>2</sub> /Kg)	Capacidad antioxidante (umolTrolox/100g)	Polifenoles totales (mgGAE/100g)	Vida útil (años)
Edward	Pintón	0.9053 ± 0.0006*	1.4561 ± 0.0004*	1.1856 ± 0.08*	0.898 ± 0.0317*	22.8227 ± 0.2507*	0.2967 ± 0.0223*	2.0917 ± 0.0411*	263.858 ± 0.0890*	8.5931 ± 0.7071*	12.89
	Maduro	0.9103 ± 0.0016*	1.4592 ± 0.0005*	1.4813 ± 0.0602*	1.066 ± 0.0158*	23.4772 ± 0.0692*	0.3773 ± 0.0274*	2.5089 ± 0.059*	172.4238 ± 0.4290*	6.2499 ± 0.0579*	7.09
Kent	Pintón	0.9072 ± 0.0009*	1.4568 ± 0.0006*	1.3976 ± 0.0999*	0.987 ± 0.0160*	23.3804 ± 0.1006*	0.3846 ± 0.0367*	2.3592 ± 0.0687*	255.2214 ± 0.1319*	7.7867 ± 0.3291*	10.5
	Maduro	0.9155 ± 0.0012*	1.4642 ± 0.0010*	1.6789 ± 0.1397*	1.251 ± 0.0555*	24.3053 ± 0.0855*	0.5982 ± 0.0944*	3.0999 ± 0.2053*	153.9673 ± 0.0398*	5.1063 ± 0.2638*	4.35

\*Datos expresados como media ± desviación estándar de 2 réplicas que incluyen 3 repeticiones c/u.

Se hace evidente a partir de los hallazgos encontrados que las características fisicoquímicas de los aceites de almendra de mango en sus dos variedades y grados de madurez variaron notoriamente, encontrando diferencias significativas en todos los análisis, y que a su vez estos resultados son parecidos a los de todas las grasas o aceites vegetales, lo que le hace útil para ser mezclado con aceites menos estables para cocinar o freír.

## V. CONCLUSIONES

- De la caracterización proximal de la almendra de mango se ha encontrado una diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza para las variables de variedad y grado de madurez evaluados mediante ANOVA, en función al contenido de grasa, las cuales se encontraron entre 8.66 al 11.03 % en p/p
- En función al rendimiento de extracción de aceite de almendra de mango bajo el método de prensado en frío, se encontró diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza en las variables de variedad y grado de madurez, la variedad Edward en grado de madurez maduro presentó un mayor rendimiento de aceite del 11.14 % en comparación a los cuatro aceites analizados, determinando que hay una relación directa en el grado de madurez y el porcentaje de grasa.
- En cuanto a las características fisicoquímicas del aceite de almendra de mango existe diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza en las variables de variedad y grado de madurez, se encontró una relación directa en el grado de madurez y las características de densidad, índice de refracción, acidez, yodo, peróxidos y anisidina debido a que un grado de madurez maduro presenta un mayor contenido de ácidos grasos insaturados (oleico), el grado de madurez presenta una relación inversa con el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa, debido a que en los primeros estadios es donde hay mayor actividad antioxidante, de acuerdo a esto el aceite de la variedad Edward en grado de madurez pintón es más estable debido al bajo contenido de índice de peróxidos y de acidez presentes en el aceite, además que contiene un mayor contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante, lo cual conserva mejor el aceite alargando su vida útil tal como señala los datos de estabilidad oxidativa presentando un tiempo de vida útil con un valor OSI de 12.89 años.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Variar los parámetros de extracción por prensado en frío como el diámetro de la boquilla y la velocidad de rotación, con la finalidad de determinar si estos parámetros influyen en el rendimiento.
- Aplicar el aceite de almendra de mango en la industria alimentaria en la fabricación de chocolates, determinando si la sustitución de la manteca de cacao con el aceite de almendra de mango influye significativamente en sus características sensoriales.
- Realizar un estudio de viabilidad para determinar si la producción de aceite de almendra de mango a gran escala es rentable para el mercado.
- Hacer estudios con la torta residual que se origina en la extracción de aceite mediante el método prensado en frío, determinando el porcentaje de aceite que se retiene en la torta, y evaluar su capacidad antioxidante y la cantidad de polifenoles.
- Realizar los análisis de polifenoles totales y capacidad antioxidantes en un equipo alternativo como un lector multi modal de microplacas Synergy HTX a comparación de un espectrofotómetro,

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, A., Darwish, S., Ayad, E., y El-Hamahmy, R. (2007). Egyptian mango by-product: Compositional quality of mango seed kernel. *Food Chemistry*, 103(4).
- Abdel, M., Ashoush, I., y Nessrien, N. (2012). Characteristics of mango seed kernel butter and its effects on quality attributes of muffins. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 9(2), 1-9.
- Alberca, S., y Huanca, M. (2015). Evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de moringa (*Moringa oleífera*) por el método Rancimat. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2), 50-69.
- Almajano, M. (2009). Determinación de la actividad antioxidante de las bayas de goji. Trabajo de investigación. Consorci Escola Industrial, Barcelona, España, p. 5.
- AOAC. (2016). *Method 920.158. Official method for iodine absorption number of oils and fats. Hanus Method. (20<sup>th</sup> Ed)*. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOAC. (2006). *Method 922.06 (32.1.14). Official methods of analysis proximate analysis and calculations crude fat, flour. (17<sup>th</sup> Ed)*. Maryland, Estados Unidos. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOAC. (2006). *Method 934.06 (37.1.10). Official methods of analysis proximate analysis and calculations moisture fruits, vegetables, and their products. (17<sup>th</sup> Ed)*. Maryland, Estados Unidos. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOAC. (2006). *Method 942.05. Official methods of analysis proximate analysis and calculations ash determination. (17<sup>th</sup> Ed)*. Maryland, Estados Unidos. Association of Official Agricultural Chemists.

- AOAC. (2001). *Method 996.06. Official method for fats (total, saturated, and unsaturated in foods) hydrolytic extraction gas chromatographic method. (17<sup>th</sup> Ed)*. Maryland, Estados Unidos. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOAC. (2005). *Method Cc 7-25. Refractive Index of Fats and Oils Official methods and recommended practices of the AOCS. (7<sup>th</sup> Ed)*. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOCS. (1998). *Method Cd 18-90. Official method and recommended practice for p-anisidine value of oils and fats. (7<sup>th</sup> Ed)*. Reapproved 2017. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOCS. (1999). *Method Cd 12b-92. Official methods and recommended practice for sampling and analysis of commercial fats and oils: Oil Stability Index. (5<sup>th</sup> Ed)*. Reapproved 2017. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOCS. (1999). *Method Cd 3d-63. Official methods and recommended practice for analysis of oils, fats and derivatives. Determination of the acid value and the acidity. (5<sup>th</sup> Ed)*. Reapproved 2017. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- AOCS. (1997). *Method Cd 8b-90. Official methods and recommended practice for sampling and analysis of commercial fats and oils: method for peroxide value of oils and fats. (5<sup>th</sup> Ed)*. Reapproved 2017. Champaign, Illinois. Association of Official Agricultural Chemists.
- Ashoush, I., y Gadallah, M. (2011). Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 6 (1), 35-42.

- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H., y Buch, G. (2008). Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 108(2008), 1122-1132. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.063.
- Barbosa, C. (2012). *Fisiología de plántulas procedentes de embriones cigóticos y nucelares de Mangifera indica L., identificados con marcadores moleculares*. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F., México.
- Basilio, J. (2009). Extracción de aceite del hueso de mango. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sinaloa, México.
- Bátten, C. (2014). *Extracción del aceite fijo de la semilla de cinco variedades de mango (Mangifera indica L.) en Guatemala y caracterización nutricional de los subproductos del mango para su comparación y posible aplicación en la industria*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Brenes, M., García, A., García, P., y Garrido, P. (2000). Rapid and complete extraction of phenols from olive oil and determination by means of a coulometric electrode array system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (11), 5178 – 5183.
- Bosquez, E. (2017). *Aplicación de parámetros de madurez y calidad (Práctica N°02)*. Universidad Autónoma Metropolitana, México. Recuperado de: <http://sgpwe.izt.uam.mx/pages/cbs/elbm/233248/practicas/practica2.pdf>
- Cáceres, Y., y Franco, E. (2011). *Desarrollo de nuevos productos a base de mango, por métodos combinados; mermelada mixta de mango (Manguifera indica L.) y calabaza (Cucurbita pepo L.)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua.

- Caisahuana, M. (2012). *Evaluación de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camu (Myrciaria dubia H.B.K. Mc Vaugh) de Mazamari – Satipo*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo, Perú.
- Casanovas, M. (2012). *Metabolisme de compostos fenòlics en olives i estudi d'olis d'oliva singulars de la província de Lleida*. (Tesis doctoral). Universitat de Lleida, Lérida, España.
- Chaparro, S., Lara, A., Sandoval, A., Sosa, S., Martínez, J., y Gil, J. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6 (1), 67-76. doi.org/10.19053/01217488.3651
- Chávez, N. (2016). *Obtener productos vegetales en todo tiempo*. Cajamarca, Perú: GD Publishing Ltd. & Co. KG.
- CODEX STAN 210-1999. (2013). Norma del CODEX para aceites vegetales especificados. Codex Alimentarius.
- CODEX STAN 33 – 1981. (2013). Norma para los aceite de oliva y aceites de orujo de oliva. Revisada en el 2017. Codex Alimentarius.
- CODEX STAN 86-1981. (2001). Norma para la manteca de cacao. Codex Alimentarius.
- Colorimetría externa de la piel del mango. (2006). [Imagen]. Recuperado de: <http://yumyumbites.blogspot.pe/2006/12/fruits-maturity-indices.html>
- Culebro, C. (2017). *Extracción de aceite de la semilla del mango Tommy Atkins*. (Tesis de pregrado). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas, México.
- DIRCETUR, (2014). Catálogo exportador de la Región Piura-Mango (*Mangifera indica* L.). Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo. Piura, Perú, 38 p.

- Encalada, H. (2017). *Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (Mangifera indica L.) variedad Kent*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Piura, Perú.
- Fahimdanesh, M., y Bahrami, M. (2013). *Evaluation of physicochemical properties of Iranian mango seed kernel oil*. International Conference on Nutrition and Food Sciences – IPCBEE, 53(9), 44 – 49. Doi: 10.7763/IPCBEE.
- FAO. (2015). *Código Internacional de prácticas recomendado para el almacenamiento y transporte de aceites y grasas comestibles a granel*: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: [www.fao.org/input/download/standards/101/CXP\\_036s\\_2015.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/101/CXP_036s_2015.pdf)
- Folin, O., y Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *The journal of biological chemistry*, 73(2), 627-650. Recuperado de <http://www.jbc.org/content/73/2/627.full.pdf>
- Fonseca, M., Rodríguez, J., Herrera, A., y Fischer, G. (2012). Caracterización fisicoquímica del fruto de cuque (*Solanum vestissimum* D.) durante la maduración. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 31-40.
- Fowomola, M. (2010). Some nutrients and antinutrients contents of mango (*Mangifera indica* L.). *African Journal of Food Science*, 4(8), 472 – 476.
- Franco, M. (2014). *Influencia del estado de madurez del fruto sobre parámetros de calidad, compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes de aceites de oliva vírgenes extremeños. Aprovechamiento de subproductos de almazara*. (Tesis doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- Galvan, A. (2015). *Influencia del índice de madurez y el tipo de envase en la estabilidad de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del aceite de oliva virgen de la*

- variedad sevillana (Olea europaea L.)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Gamel, T., Mesallam, A., Damir, A., Shekib, L., y Linssen, J. (2007). Characterization of amaranth seed oil. *Journal of Food Lipids*, 14(3), 323-334. doi.org/10.1111/j.1745-4522.2007.00089.x
- Garrido, G., y Valdés, M. (2012). Avances en las investigaciones farmacológicas y toxicológicas con el extracto acuoso de la corteza del árbol de mango (*Mangifera indica L.*). *Revista de la Sociedad de Farmacología de Chile*, 5(2), 63-93.
- Gergoff, G. (2016). *Maduración e índices de cosecha*. Universidad Nacional de la Plata, Argentina.  
Recuperado de: <http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/321/course/sectn/261/%C3%ADndices%20de%20madurez%202016%20modif%2011-3.pdf>
- Grados de color de la pulpa de mango. (2015). [Imagen]. Recuperado de: <https://consaboraveracruz.weebly.com/blog-csv/el-mango-en-veracruz-y-mexico>
- Guerrero, D., Farfán, R., Garrido, F., Ipanaque, J., Yovera, L., & Yovera, E. (2012). Diseño del proceso industrializado del mango en almíbar. *Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas*, 1(3), 20-24.
- Gutiérrez, C., Rivera, Y., Gómez, R., Bastidas, V., e Izaguirre, C. (2015). Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (*Mangifera indica L.*). *Revista de la Facultad de Farmacia*, 57(2), 33-42. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/42003/art4>.
- Heredia, J. (2009). *Extracción de aceite del hueso de mango*. (Resultado de Investigación). Fundación Produce Sinaloa, Sinaloa, México.
- Herrera, C., Bolaños, N., y Lutz, G. (2003). *Química de alimentos: manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.

- INEI. (2015). *Producción de mango se incrementó en el Perú*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Recuperado de: <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/produccion-de-mango-se-incremento-en-648-8358/>
- IUPAC. (1996). Method 2.101. *Standard Methods for Analysis of Oils, Fats and Derivatives. Determination of the physical characteristics. (7<sup>th</sup> Edition)*. Reapproved 2017. Blackwell, Oxford. International Union of Pure and Applied Chemistry.
- Jahurul, M., Zaidul, I., Norulaini, N., Sahena, F., Abedin, M., Mohamed, A. (2014). Hard cocoa butter replacers from mango seed fat and palm stearin. *Food Chemistry*. 154: 323-329.
- Kittiphoom, S., y Sutasinee, S. (2013). Mango seed kernel oil and its physicochemical properties. *International Food Research Journal*, 20(3), 1145 – 1149. Recuperado de:[http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(03\)%202013/15%20IFRJ%2020%20\(03\)%202013%20Kittiphoom%20\(355\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(03)%202013/15%20IFRJ%2020%20(03)%202013%20Kittiphoom%20(355).pdf)
- Lamas, D. (2014). *Desgomado enzimático de aceites*. (Tesis doctoral). Universidad nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Lezama, K. (2017). *Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aceite de uva (Vitis vinifera) obtenido con y sin tratamiento enzimático*. (Tesis de pregrado). Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Londoño, J. (2012). *Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad*. Antioquia, Colombia. Corporación Universitaria Lasallista.
- López, M. (2013). *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización de la grasa de semilla de 20 accesiones de mango del banco de germoplasma y*

- materiales nativos*. (Tesis de pregrado). Universidad de Tolima, Ibagué, Colombia.
- Mahale, S., y Goswami-Giri, A. (2011). Composition and characterization of refined oil compared with its crude oil from waste obtained from *Mangifera indica* L. *Asian J. Research Chem*, 4(9), 1415-1419.
- Mango (*Mangifera indica* L.). (2014). [Imagen]. Recuperado de: <http://biologia-5toc.weebly.com/frutas/fruto-mango>
- Mango Edward. (2018). [Imagen]. Recuperado de: <http://www.elhuertodedongogo.com/frutas/>
- Mango Kent. (2018). [Imagen]. Recuperado de: <http://www.elhuertodedongogo.com/frutas/>
- Martin, D. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1). Doi: 10.22490/21456453.1968.
- Mas' ud, F., Meta, M., Amran, L., y Zainal, Z. (2017). Physicochemical properties and fatty acid composition of mango seed kernel oil. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 7(1). IJESS7. doi: 10.5281/zenodo.1147523.
- Mata, E. (2017). *Estudio de la estabilidad oxidativa y microencapsulación de aceites de Moringa oleifer y Linum usitatissimum*. (Tesis de maestría). Universidad autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Matos, M., y Pirela, A. (2014). *Comparación de las propiedades fisicoquímicas de los lípidos contenidos en la almendra de mango de los cultivares Tetenene y Pico de Loro*. (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

- Medina, G. (2011). *Aceites y grasas comestibles*. (Guía de clases). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Medina, J. (2014). *Determinación de contenido de ácido oleico, linoleico, linolénico y trans-elaídico en margarinas, aceites y mayonesas por cromatografía de gases*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Método Rancimat. (2010). [Imagen]. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/figure/-the-Rancimat-test-Jain\\_fig2\\_263543689](https://www.researchgate.net/figure/-the-Rancimat-test-Jain_fig2_263543689)
- Moya, D. (2017). *Desarrollo de un proceso para el aprovechamiento de los residuos de la industria despulpadora de mango*. (Tesis de pregrado). Universidad de Bogotá, Bogotá, Colombia.
- Muchiri, D., Mahungu, S., y Gituanja, S. (2012). Studies on mango (*Mangifera indica*, L.) kernel fat of some kenyan varieties in Meru. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 89(12), 1567 – 1575. doi: 10.1007/s11746-012-2054-6.
- Muñoz, A., Alvarado, C., Ramos, F., Castañeda, B., Barnett, E., Cárdenas, L., Yáñez, J., Cajaleón, D., y Encina, C. (2013). Estudio de polifenoles, taninos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante de la semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L). *Revista Horizonte Médico*, 13(1), 11-18.
- Naspud, M. (2018). *Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólicos del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos con tres pretratamientos térmicos*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Navas, P. (2010). Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales por presión en frío a partir de efluentes vegetales convencionales y no convencionales. (Tesis doctoral). Universidad de Castilla La Mancha, España.

- Nzikou, J., Kimbonguila, A., Matos, L., Loumouamou, B., Pambou-Tobi, N., y Ndangui, C. (2010). Extraction and characteristics of seed kernel oil from mango (*Mangifera indica*). *Research Journal of Environmental Earth Sci*, 2(1), 31 -35.
- Olagunju, E. (2013). Extraction and characterization of vegetable oil from mango seed, *Mangifera indica*. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 5(3), 06-08.
- Partes de la semilla de mango. (2016). [Imagen]. Recuperado de: <http://agrosextos.blogspot.com/>
- Pascual, S., Vilchis, G., Alvarez, C., y Trejo, M. (2008). *Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate*. (Resultado de Investigación). Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli Estado de México, México.
- Pastrana, L. (2016). *Análisis de la calidad del aceite de oliva virgen: relación entre la estabilidad oxidativa y la composición fenólica*. (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Pérez, V. (2013). *Biología reproductiva del mango Mangifera indica L.* (Tesis doctoral). Universidad de Málaga, Málaga, España.
- Plank, D., Szpylka, J., Sapirstein, H., Woollard, D., Zapf, C., Lee, V., Chen, C., Liu, R., Tsao, R., Düsterloh, A., y Baugh, S. (2012). Determination of antioxidant activity in foods and beverages by reaction with 2, 2' - Diphenyl – 1 - Picrylhydrazyl (DPPH). *Journal of AOAC International*, 95(6), 1562 – 1569. Doi: 10.5740/jaoacint.CS2012\_04.
- Priego, N. (2007) *Obtención de fibra dietética a partir de sáculos de naranja aplicando un tratamiento con vapor*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México.

- Repo, R., y Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.
- Restrepo, A., Londoño, J., González, D., Benavides, Y., y Cardona, B. (2012). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 151 – 161.
- Rodríguez, L. (2014). *Efecto de tratamientos enzimático, microondas y ultrasonido en la extracción de grasa de semilla de mango (Mangifera indica L.)*. (Tesis de pregrado). Universidad de Tolima, Ibagué, Tolima.
- Rojas, F., y Burbano, F. (2011). *Efecto de un pretratamiento enzimático en el proceso de obtención de aceite de la semilla de mango*. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Sánchez, G. (2012). *Caracterización y cuantificación de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 presentes en el aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. (Tesis de post-grado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Shahidi, F., y Wanasundara, U. (2008). Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. *Food Lipids Chemistry, Nutrition and Biotechnology*, 88(3), 377-396. Doi: 10.1201/9781420046649.ch14.
- Sikdar, D., Hegde, S., Swamynathan, V., Varsha, S., y Rakesh, R. (2017). Solvent extraction of mango (*Mangifera indica L.*) seed kernel and its characterization. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 5(4).
- Silva, S. (2018). *Extracción y caracterización de la grasa de almendra de mango (Mangifera indica L.) variedad Kent por prensa mecánica*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Soler, A. (2009). *Estudio de la capacidad antioxidante y la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos del aceite de oliva, primeras etapas en el desarrollo de un aceite de oliva funcional*. (Tesis doctoral). Universidad de Lleida, España.
- Solis, J., y Duran, M. (2004). Mango seed used: thermal behavior of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology*, 92(1), 71-78.
- Soto, M. (2015). *Extracción y purificación de compuestos fenólicos a partir de subproductos de destilería de vino*. (Tesis doctoral). Universidad de Vigo, España.
- Soto, M. (2011). *Control de calidad de aceites vegetales*. (Guía de clases). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Sumaya, M., Sánchez, L., Torres, G., y García, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 16 (30), 826-833.
- Tanilgan, K., Özcanb, M., y Ünverb, A. (2007). Physical and chemical characteristics of five Turkish olive (*Olea europea L.*) varieties and their oils. *Grasas y Aceites*, 58(2), 142-147.
- Tapia, M., Pérez, B., Cavazos, J., y Mayett, Y. (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*Mangifera indica L.*) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. *Revista mexicana de agronegocios*, 32(17), 258 – 266.
- Troncoso, H., Jamett, F., Benavides, A., y Astorga, M. (2006). Caracterización química de aceites de oliva producidos en la región de Coquimbo. 30 p. Boletín INIA 153. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Intihuasi, La Serena, Chile.
- Vargas, J. (2016). *Valoración del producto tradicional “siete harinas” como fuente de antioxidantes y compuestos fenólicos*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

- Vásquez, M. (2018). *Polifenoles y actividad antioxidante del extracto etanólico de Gentianella dianthoides (Kunth) Fabris y elaboración de una crema dermocosmética*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Villanueva, E., Castillo, D., Rodríguez, G. (2013). Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de Sesamum indicum L. *Scientia Agropecuaria*, 4(1), 173 – 180.
- Yildirim, G. (2009). *Effect of storage time on olive oil quality*. (Thesis Mg Sc. in Food Engineering). Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey.
- Zambrano, W., Martínez, J., y Fernández, J. (2017). Determinación de la vida útil de la grasa de semilla de mango a diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista Agrollanía*. 14: 1 -5.
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Schwab, M. (2007). Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología*, 18(35), 175-193.

## VIII. ANEXOS

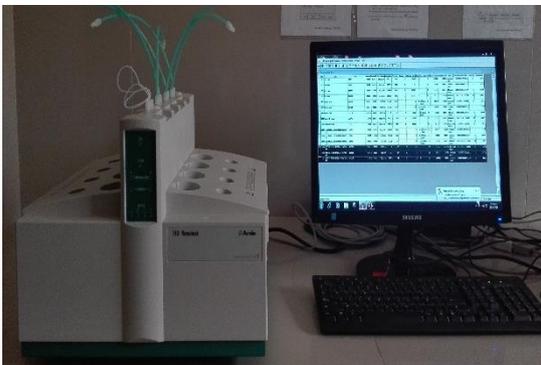
### Anexo 1. Equipos y materiales.



Prensa expeller



Extractor de grasas Soxhlet



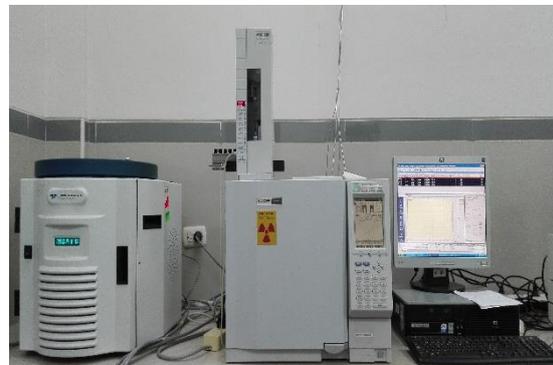
Rancimat



Refractómetro digital



Espectrofotómetro digital



Cromatógrafo de gases



Centrifuga digital refrigerada



Cámara extractora de gases

## Anexo 2. Análisis proximal de la almendra de mango.

### ▪ Determinación de porcentaje de grasa



Pesar la muestra de harina y formar capachos con la muestra



Colocar los capachos en la gradilla soporte de cartuchos



Pesar y rotular los vasos de aluminio; seguidamente agregar el éter de petróleo



Programar los parámetros para la extracción



Extracción del aceite



Pesar de los vasos más el aceite extraído

### Anexo 3. Análisis al aceite de almendra de mango.

#### ▪ Determinación de la densidad



Peso del picnómetro vacío



Peso picnómetro con agua destilada



Adición de la muestra de aceite en el picnómetro



Peso picnómetro con muestra

#### ▪ Determinación del índice de refracción



Muestras de aceite



Adición de aceite en el refractómetro



Lectura

#### ▪ Determinación del índice de acidez



Pesado muestra de aceite



Adición 50 ml etanol



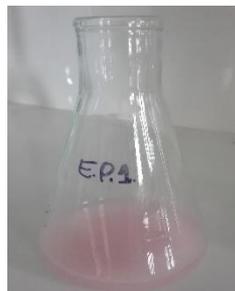
Calentar hasta ebullición



Adición fenolftaleína

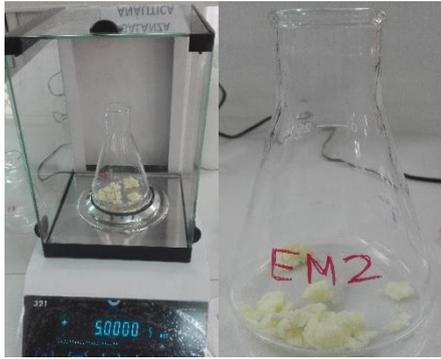


Titulación NaOH 0.1N

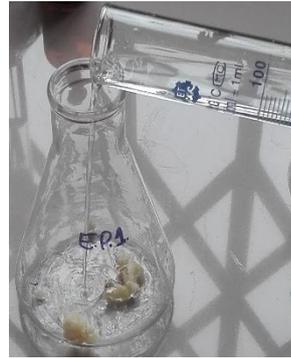
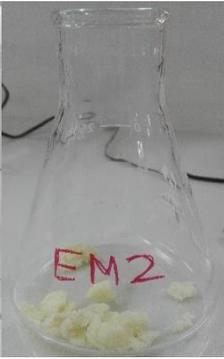


Titulación

▪ **Determinación del índice de peróxidos**



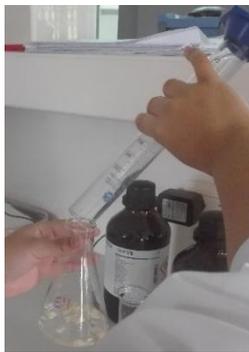
Pesado muestras de aceite



Adición ácido acético  
cloroformo



Adición solución  
saturada KI



Adición agua  
destilada



Adición almidón  
1%



Titulación



Solución incolora

▪ **Determinación del índice de yodo**



Pesado muestra de aceite



Adición cloroformo



Adición de Hanus



Reposar en oscuridad



Adición KI al 15 %



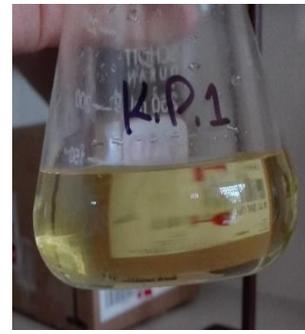
Adición de agua destilada



Muestras de aceite para titular



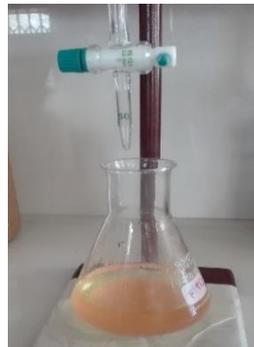
Titulación Tiosulfato de sodio 0.01 N



Viraje de color marrón a amarillo



Adición de almidón al 1 %



Titulación Tiosulfato de sodio 0.01 N



Viraje de color amarillo a incoloro

▪ **Determinación del índice de anisidina**

**Preparación de anisidina**



Peso anisidina cristalina



Adición ácido acético



Solución de anisidina

**Procedimiento**



Peso muestras de aceite



Adición de isooctano



Agitación hasta disolver



Muestras preparadas

**Preparación Sol. Ab**



**MUESTRA**



**Isooctano  
BLANCO**

**Preparación Sol. As**



**MUESTRA +  
ISOCTANO  
MUESTRA**



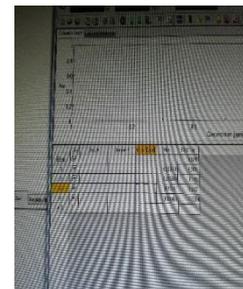
**ISOCTANO +  
ANISIDINA  
BLANCO**



Adición muestra en la cubeta



Colocar el vial en el espectrofotómetro

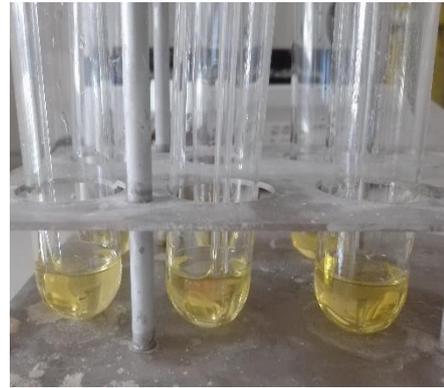


Lectura de la absorbancia a 350 nm

▪ **Determinación de la estabilidad oxidativa**



Pesado de muestra de aceite



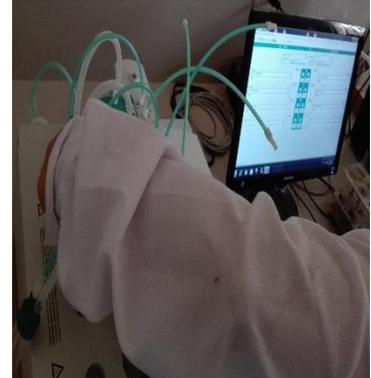
Muestras de aceite



Adición de agua destilada en los vasos



Armado de los tubos de ensayo



Programación de los parámetros en el equipo



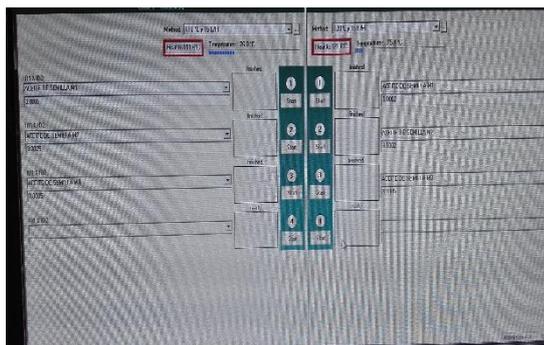
Colocación de los tubos con agua en el equipo



Colocación de los tubos con muestra en el equipo



Una vez todo equipado



Inicio de la corrida presionando "Start".

▪ **Determinación del perfil de ácidos grasos**



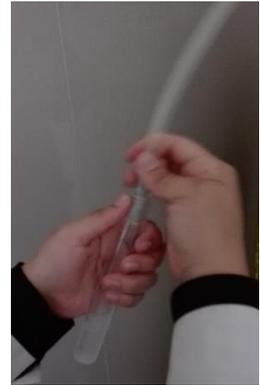
Peso muestra aceite



Adición NaOH 0.5N



Agitación



Cubrir con N<sub>2</sub>



Colocar Baño María



Adición BF<sub>3</sub>



Cubrir con N<sub>2</sub>



Colocar Baño María



Adición isooctano



Cubrir con N<sub>2</sub>



Adición sol. NaCl sat.



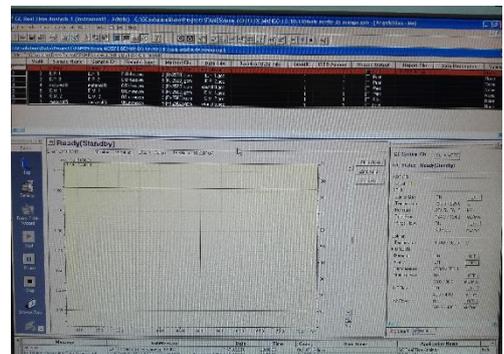
Separación de fases



Extracción fase orgánica



Viales



Análisis cromatógrafo de gases

- **Determinación de polifenoles totales por el método Folin Ciocalteu**

**Preparación del extracto acuoso**



Pesar aceite en los tubos



Agregar soluc. metanol: agua



Agitar y centrifugar



Separar la fase acuosa, almacenar con nitrógeno en refrigeración.

**Determinación de los polifenoles totales en las muestras de aceite**



Adición de 900µl del extracto de la muestra.

Tubos con la muestra y reactivos, reposando por 5 minutos antes de la lectura en el espectrofotómetro a 726nm.



Se puede apreciar el viraje a color azul en los tubos con muestra.

- **Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH**

**Preparación del extracto acuoso**



Pesar el aceite en los tubos



Agregar soluc. metanol: agua



Agitar y centrifugar



Separar la fase acuosa Almacenar con nitrógeno en refrigeración.

**Determinación de la capacidad antioxidante en las muestras de aceite**



Tubos con muestra y reactivos , colocados a incubación a 37°C por 2 horas.



Viraje de púrpura intenso a amarillo pálido.

Tubos después de incubación, listos para proceder a lecturar a 517nm.

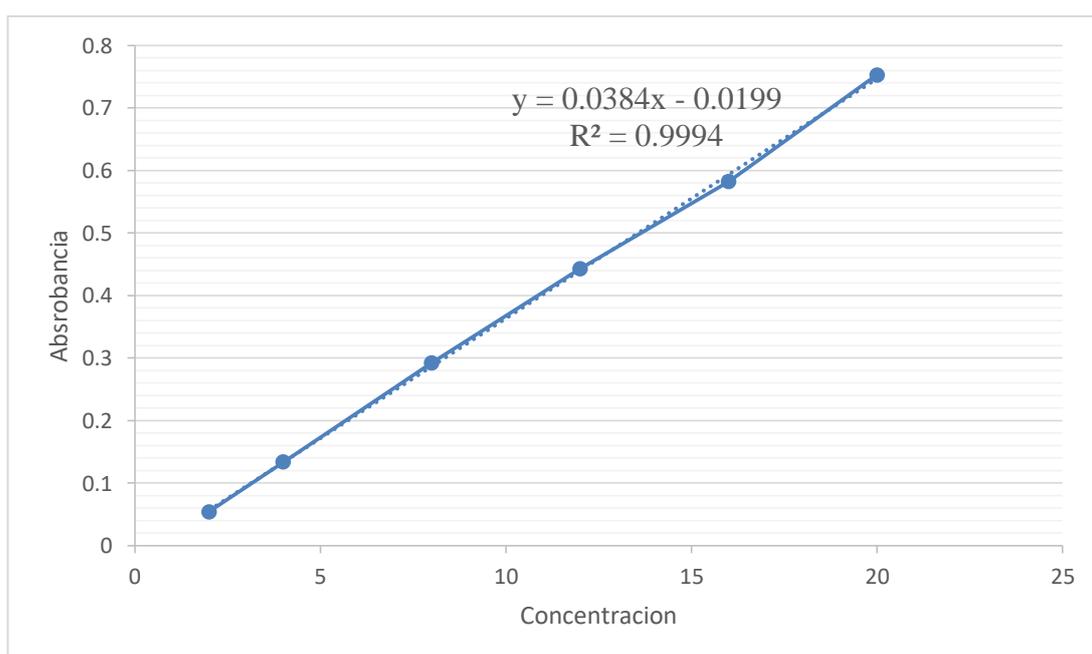
**Anexo 4. Curva de calibrado para el método para determinar polifenoles totales.**

**Diluciones para la preparación curva de calibrado para el Método Folin – Ciocalteu a 726nm**

	<b>A. Gálico</b> uL	<b>Folin</b> uL	<b>Carbonato</b> uL	<b>Agua</b> uL	<b>Total</b> uL
<b>1</b>	100	200	100	2100	2500
<b>2</b>	200	200	100	2000	2500
<b>3</b>	400	200	100	1800	2500
<b>4</b>	600	200	100	1600	2500
<b>5</b>	800	200	100	1400	2500
<b>6</b>	1000	200	100	1200	2500
<b>7</b>	1200	200	100	1000	2500
<b>blanco</b>			100	2400	2500
<b>muestra</b>	600	200	100	1600	2500

**Curva de calibrado para polifenoles totales**

Concentración (ppm)	Absorbancia a 726nm
2	0.0542479
4	0.133826
8	0.2926
12	0.44301
16	0.582127
20	0.752937



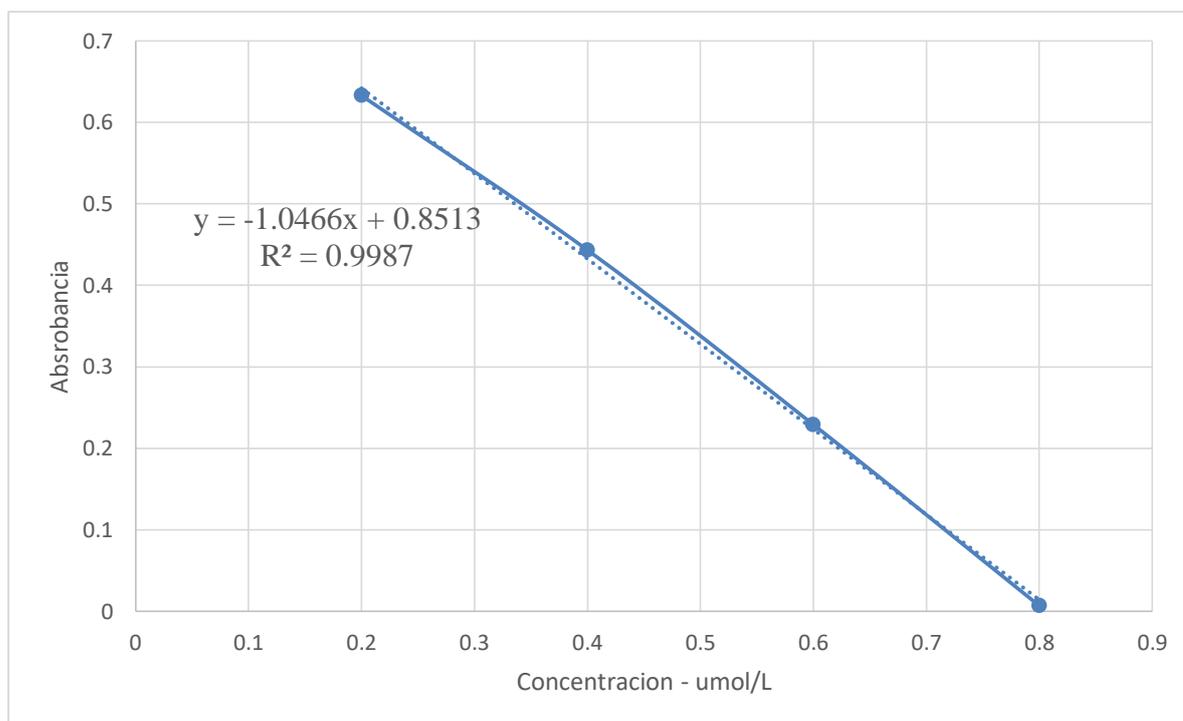
## Anexo 5. Curva de calibrado para el método DPPH.

### Preparación curva de calibrado para el Método DPPH a 517nm

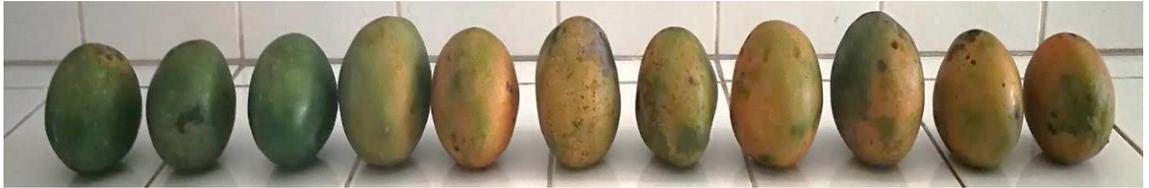
	TROLOX (uL)	DPPH (ml)
1	25	6.25
2	50	6.25
3	75	6.25
4	100	6.25

### Curva de calibrado para capacidad antioxidante

Concentración (umol/L)	Absorbancia
0.8	0.00664191
0.6	0.229012
0.4	0.443298
0,2	0.632967



**Anexo 6. Clasificación y caracterización física al fruto de mango variedad Edward y Kent en grados de madurez pintón y maduro.**



Separación de proceso de los frutos de mango, de las dos variedades y grados de madurez.



Clasificación del mango según el grado de madurez y en función de la variedad. Grado de madurez maduro (fila de arriba), pintón (fila de abajo) en ambas fotos.

**CARACTERIZACION FÍSICA DE LAS PARTES DEL FRUTO, EN FUNCION A LA VARIEDAD Y EL GRADO DE MADUREZ**



Pesado del fruto



Pesado de la pulpa



Pesado de la cáscara



Pesado de la semilla



Pesado de la almendra



Pesado del cotiledón

## Anexo 7. Extracción y obtención del aceite de almendra de mango.



Acopio de semilla de mango de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.



Limpieza de las semillas



Secado de las semillas de mango



Extracción de las almendras de mango



Separación de cotiledones de la almendra



Cotiledones



Almendras de mango



Secado de las almendras



Almacenamiento de almendras en bolsas herméticas



Molienda de almendras



Tamizado de almendras



Almacenamiento de almendras



Extracción de aceite



Aceite + Impurezas



Torta



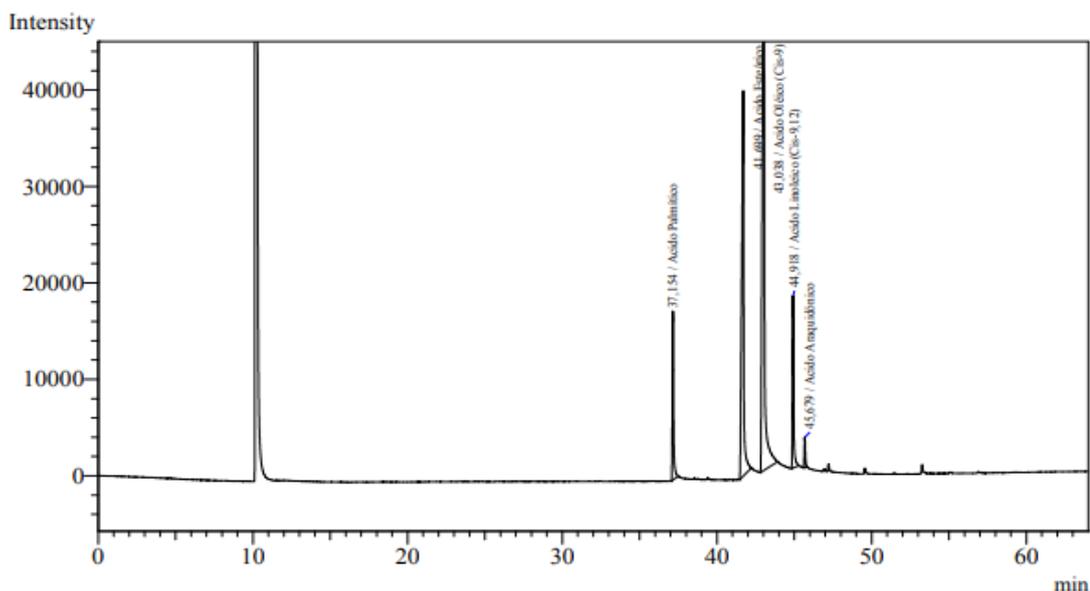
Centrifugación



Almacenamiento de aceite virgen

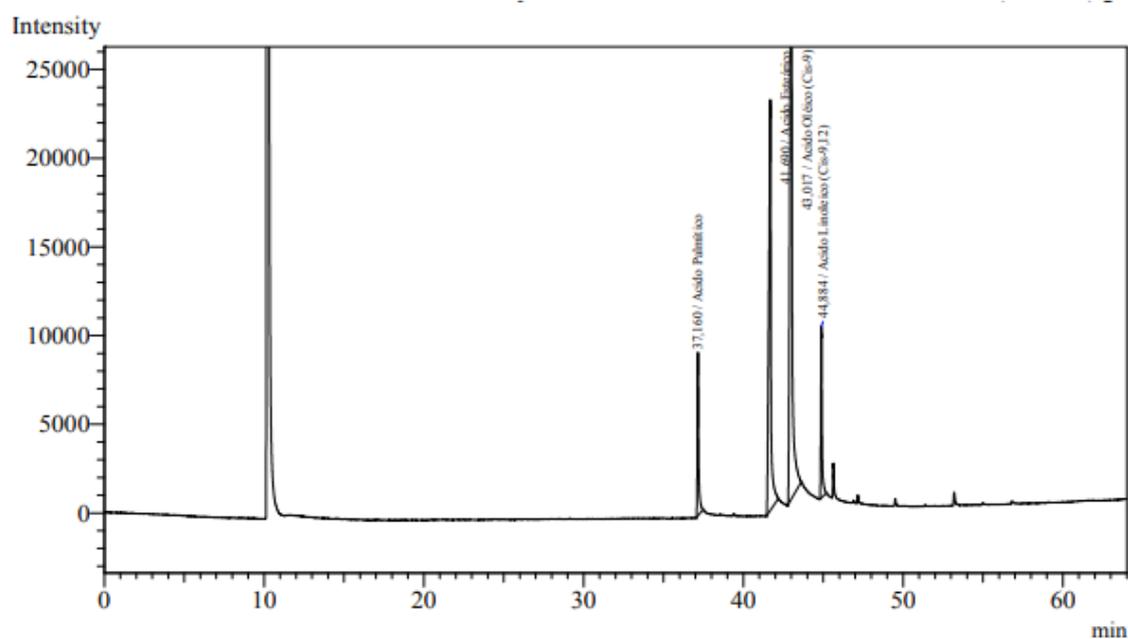
**Anexo 8. Perfil de ácidos grasos del aceite de almendra de mango en las dos variedades y grados de madurez.**

• **Aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez maduro**



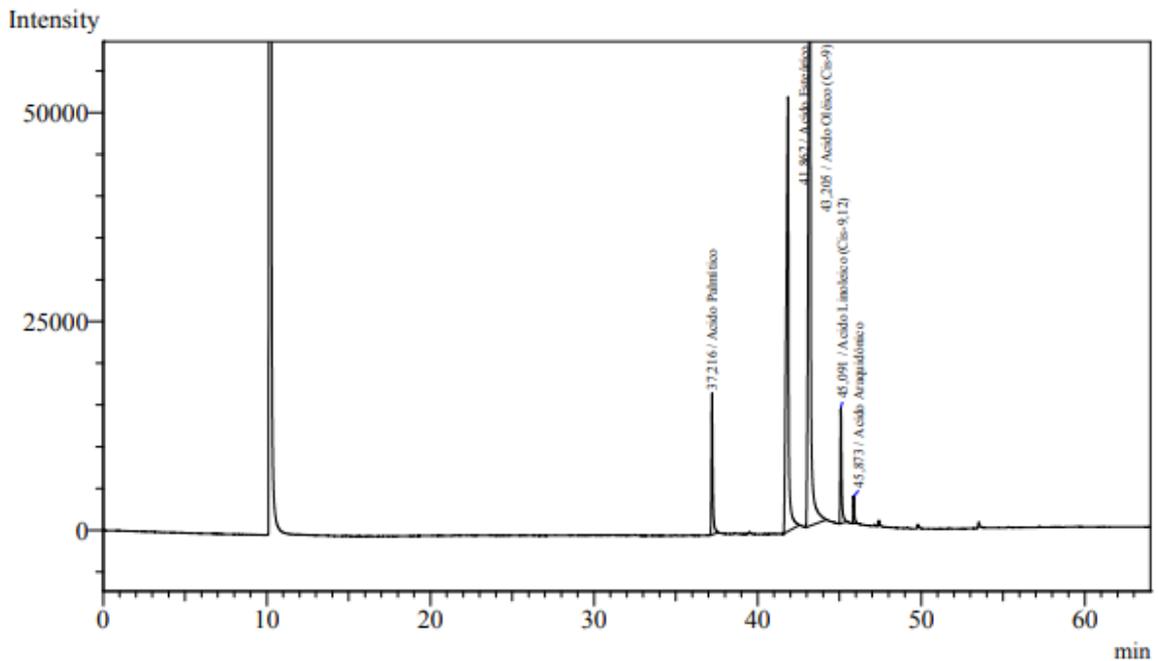
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	37.154	94143	17483	7.328 %		11	Acido Palmítico
2	41.699	366409	39920	28.111 %		14	Acido Estearico
3	43.038	724399	87076	55.175 %		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	44.918	94027	17849	8.182 %		18	Acido Linoleico (Cis-9,12)
5	45.679	14897	3146	1.204 %		19	Acido Araquidónico
<b>Total</b>		<b>1293875</b>	<b>165474</b>				

• **Aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez pintón**



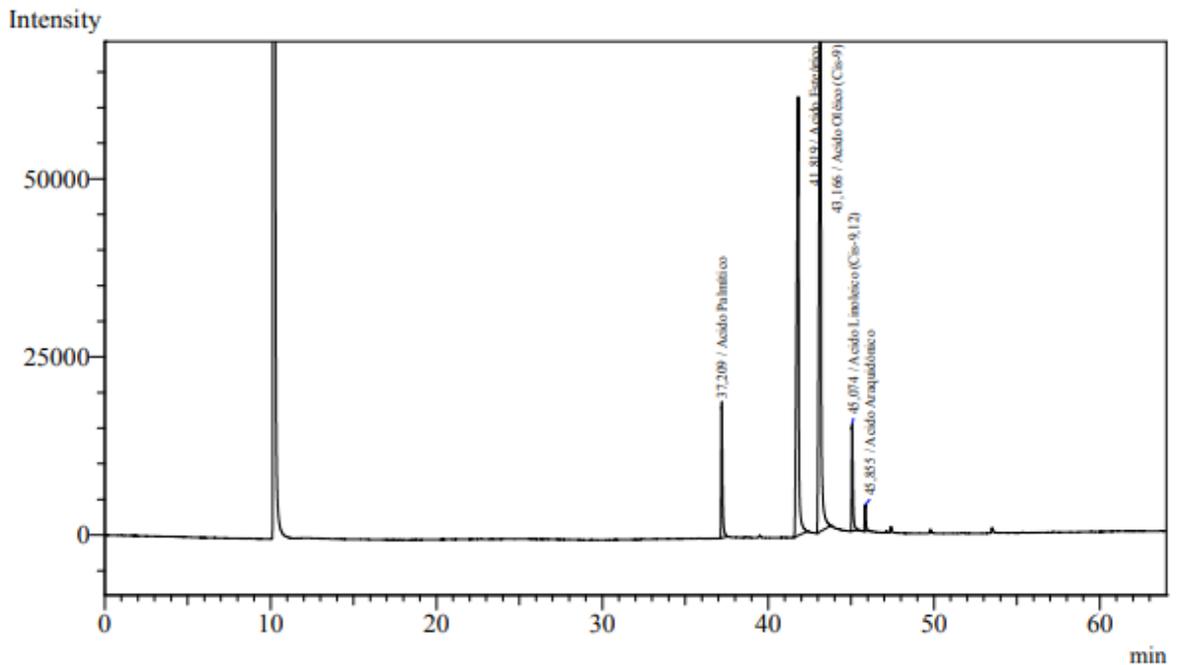
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	37.160	52548	9211	7.113 %		11	Acido Palmítico
2	41.690	218220	23150	29.114 %		14	Acido Estearico
3	43.017	421351	51166	55.808 %		16	Acido Oleico (Cis-9)
4	44.884	52638	9631	7.965 %		18	Acido Linoleico (Cis-9,12)
<b>Total</b>		<b>744757</b>	<b>93158</b>				

- Aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez maduro**



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	37.216	96057	16894	5,936 %		11	Acido Palmítico
2	41.862	533774	51990	32,511 %		14	Acido Esteárico
3	43.205	908618	104624	54,941 %		16	Acido Oléico (Cis-9'
4	45.091	79421	13836	5,486 %		18	Acido Linoleico (Cis
5	45.873	17537	3282	1,125 %		19	Acido Araquidónico
<b>Total</b>		<b>1635407</b>	<b>190626</b>				

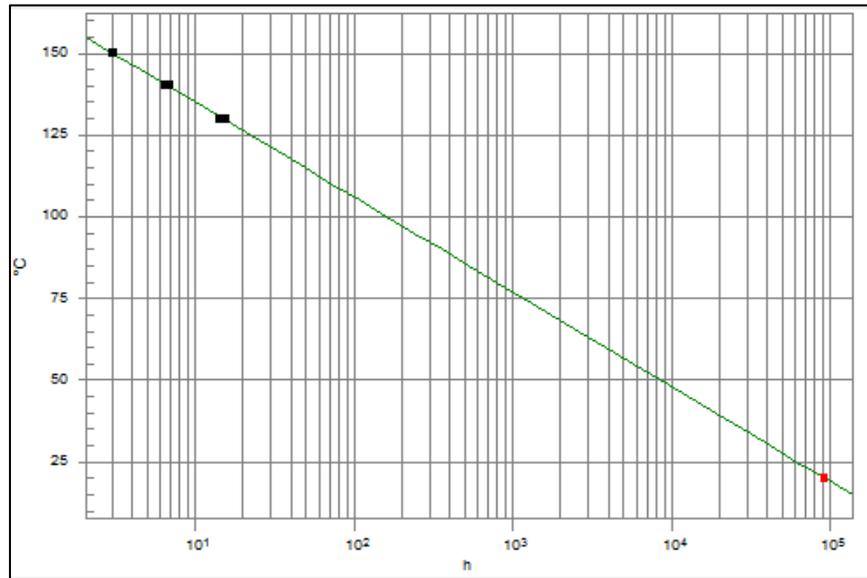
- Aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez pintón**



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	37,209	103954	19080	6,493 %		11	Acido Palmítico
2	41,819	550826	61450	33,907 %		14	Acido Esteárico
3	43,166	861381	113065	52,640 %		16	Acido Oléico (Cis-9'
4	45,074	81927	15093	5,720 %		18	Acido Linoleico (Cis
5	45,855	19133	3663	1,241 %		19	Acido Araquidónico
<b>Total</b>		<b>1617221</b>	<b>212351</b>				

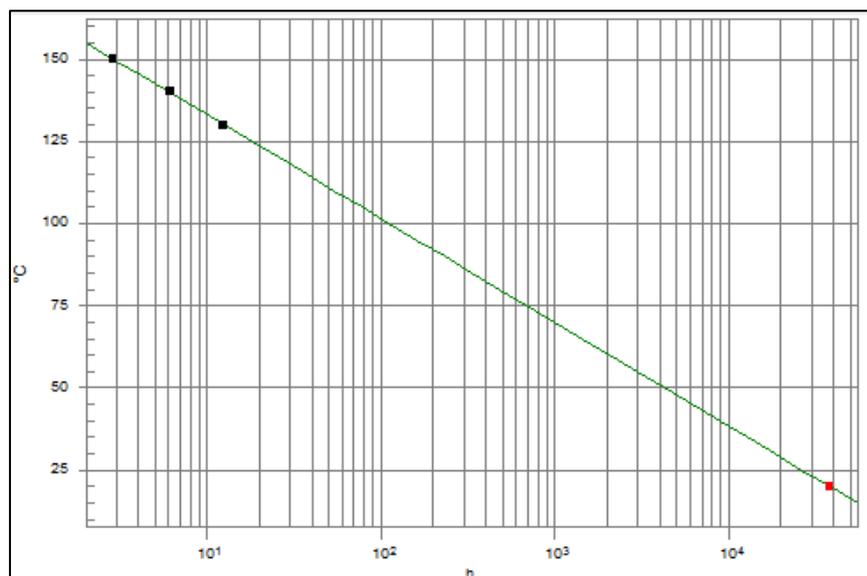
**Anexo 9. Gráficas de extrapolación del aceite de almendra de mango en ambas variedades y grados de madurez.**

- **Aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez pintón**



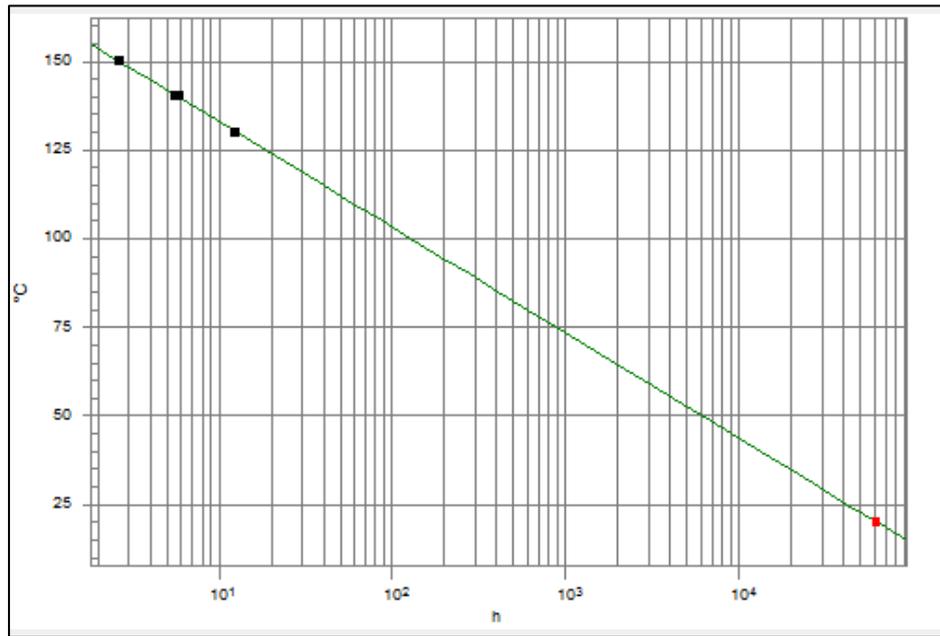
Results					
Formula: $t = A \times e^{(B \times T)}$	A	449516.02868885	B	-0.0793202502030085	r <sup>2</sup> 0.998724667018972
Time =	91,998 h	10.5	Years	Target temperature	20 °C
	Standard factor	2.21		Number of determinations	6

- **Aceite de almendra de mango variedad Kent grado de madurez maduro**



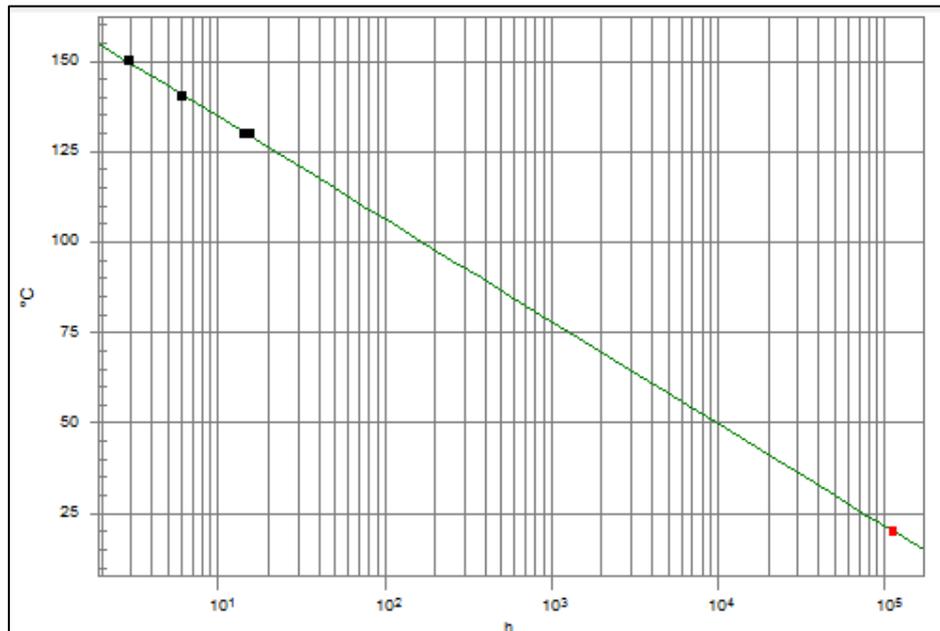
Results					
Formula: $t = A \times e^{(B \times T)}$	A	163550.361357516	B	-0.0728929253577764	r <sup>2</sup> 0.998969690977368
Time =	38,064 h	4.35	Years	Target temperature	20 °C
	Standard factor	2.073		Number of determinations	6

- **Aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez pintón**



Results					
Formula: $t = A \times e^{(B \times T)}$	A	291355.906572017	B	-0.0773008913537038	$r^2$ 0.999279507349632
Time =	62,086 h	7.09 Years	Target temperature	20 °C	Number of determinations 6
	Standard factor	2.166			

- **Aceite de almendra de mango variedad Edward grado de madurez maduro**



Results					
Formula: $t = A \times e^{(B \times T)}$	A	575136.079983084	B	-0.0814046259144627	$r^2$ 0.996295451191353
Time =	112,901 h	12.89 Years	Target temperature	20 °C	Number of determinations 6
	Standard factor	2.257			

**Anexo 10. Modelo estadístico ANOVA para la estabilidad oxidativa del aceite de almendra de mango**

Tabla 38

*Modelo estadístico ANOVA.*

<b>FUENTE DE VARIANZA</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F Calculado</b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos A	a-1	$\sum_{i=1}^a \gamma_i^2 / bn - TC$	CMTRA = SCTRA/(a-1)	FC=CMTRA/CMER	
Tratamientos B	b-1	$\sum_{j=1}^b \gamma_j^2 / an - TC$	CMTRB = SCTRb/(b-1)	FC=CMTRB/CMER	
Tratamientos C	c-1	$\sum_{k=1}^c \gamma_k^2 / cn - TC$	CMTRC = SCTRC/(c-1)	FC=CMTRC/CMER	
Interacción AB	(a-1)(b-1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \gamma_{ij}^2 / cn - TC - SCA - SCB$	CMINTAB = SCINTAB/(a-1)(b-1)	FC=CMINTAB/CMER	
Interacción AC	(a-1)(c-1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \gamma_{ik}^2 / bn - TC - SCA - SCC$	CMINTAC = SCINTAB/(a-1)(C-1)	FC=CMINTAC/CMER	
Interacción BC	(b-1)(c-1)	$\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \gamma_{jk}^2 / an - TC - SCB - SCC$	CMINTBC = SCINTAB/(b-1)(c-1)	FC=CMINTBC/CMER	
Interacción ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \gamma_{ijk}^2 / n - TC - SCA - SCB - SCC - SCAB - SCBC - SCAC$	CMINTABC = SCINTABC/(a-1)(b-1)(C-1)	FC=CMINTABC/CMER	
ERROR	ab(n-1)	SCER=SCT-SCTRA-SCTRb-SCINTAB-SCINTBC-SCINTAC-SCINTABC	CMER=SCER/(abc)(n-1)		
TOTAL	abcn-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \gamma_{ijki}^2 / - TC$			

**Donde:**

a = Número de variedades de mango

b = Número de grados de madurez

c = Número de temperaturas

n = Número de repeticiones

Y<sub>i</sub> = Total del i-esimo tratamiento

SCER= Suma de cuadrados de errores

SCT = Suma de cuadrados totales

SCTRA = Suma de cuadrados de tratamientos A

SCTRB = Suma de cuadrados de tratamientos B

SCTRC = Suma de cuadrados de tratamientos C

SCINTAB = Suma de cuadrados de la interacción AB

SCINTAC= Suma de cuadrados de la interacción AC

SCINTBC= Suma de cuadrados de la interacción BC

SCINTABC= Suma de cuadrados de la interacción ABC

CMER = Cuadrados medios de errores

CMTRA = Cuadrados medios de tratamiento A

CMTRB= Cuadrados medios de tratamiento B

CMTRC = Cuadrados medios de tratamiento C

CMINTAB = Cuadrados medios de la interacción AB

CMINTAC = Cuadrados medios de la interacción AC

CMINTBC = Cuadrados medios de la interacción BC

CMINTABC = Cuadrados medios de la interacción ABC

TC = Factores de corrección

$$TC = \frac{\gamma^2}{abn}$$