

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



VIDA ÚTIL DEL ACEITE DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa L.f.*) MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

EVER JOHN LANDEO PINO

CALLAO - PERU

2019

HOJA DE REFERENCIA DE JURADO

La presente tesis fue sustentada ante el JURADO EXAMINADOR conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

Dr. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO	PRESIDENTE
Mg. ZARATE SARAPURA EDGAR	SECRETARIO
Dra. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	MIEMBRO
Mg. RODRIGUEZ VÍLCHEZ RICARDO	MIEMBRO
Mg. TOLEDO PALOMINO MARÍA ESTELA	ASESORA

Según figura en el Libro de Actas N° 1 Folio N° 014 asentado en el Acta N° 012 de fecha **TREINTA DE MAYO DEL DOS MIL DIECINUEVE**, para obtener el Grado Académico de Maestro en la modalidad de **Sustentación de Tesis**, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Estudios de Posgrado vigente.

Dedicado a Giovanna mi esposa, compañera y mejor amiga.

Gracias por todo tu apoyo, amor y comprensión, cada trashedada y fines de semana conmigo en la realización del trabajo al fin dan sus frutos.

INDICE

PÁGINA

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Determinación del problema.....	12
1.2	Formulación del problema.....	14
1.2.1	Problema General.....	14
1.2.2	Problemas Específicos.....	14
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo General.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	Justificación.....	15

II. MARCO TEORICO

2.1	Antecedentes.....	18
2.2	Aguaje.....	20
2.2.1	Características generales.....	21
2.2.2	Aceite de aguaje.....	21
2.2.3	Deterioro del aceite.....	28
2.2.4	Tiempo de vida en anaquel.....	37
2.3	Definición de términos básicos.....	59

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1	Variables dependientes.....	61
3.2	Variables independientes.....	61
3.3	Operacionalización de las variables.....	61
3.4	Hipótesis general.....	62
3.5	Hipótesis específicas.....	62

IV.	METODOLOGIA	
4.1	Tipo de investigación.....	63
4.2	Diseño de la investigación.....	63
4.3	Población	63
4.4	Muestra	63
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos....	63
4.6	Plan de análisis estadísticos de datos	71
V.	RESULTADOS.....	72
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
VII.	CONCLUSIONES.....	89
VIII.	RECOMENDACIONES	90
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91

ANEXOS

	Página
1. Matriz de consistencia	97
2. Correlación de la regresión lineal para orden de reacción $n = 0$ y $n = 1$, para el % de Acidos Grasos Libres a las temperaturas y tiempos de estudio.	98
3. Correlación de la regresión lineal para orden de reacción $n = 0$ y $n = 1$, para el índice de peróxido a las temperaturas y tiempos de estudio.	98
4. Análisis de Varianza y la comparación de los resultados experimentales para el % e Ácidos Grasos Libres.	99
5. Análisis de Varianza y la comparación de los resultados experimentales para el Índice de Peróxido.	100

ÍNDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1 Producción Nacional de Productos del Sector Grasas y Aceites.	22
Cuadro 2 Importaciones de Aceite Crudo y Refinado.	22
Cuadro 3 Contenido de Aceite del Aguaje, según autores.	23
Cuadro 4 Composición de Ácidos Grasos del Aceite de Aguaje.	24
Cuadro 5 Contenido de Ácidos Grasos en el Aceite de Aguaje.	25
Cuadro 6 Contenido de Ácidos Grasos en el Aceite de Aguaje (Verde y Maduro) Olivo, Soya y Algodón.	26
Cuadro 7 Características Físico – Químicas del Aceite de Aguaje.	27
Cuadro 8 Características Fisicoquímicas del Aceite Mesocarpio (Variedad “Shambo”).	27
Cuadro 9 Contenido de Beta Caroteno y Vitamina A en la Pulpa y el Aceite de Aguaje.	28
Cuadro 10 Ecuaciones para los Parámetros de Calidad en Función del Tiempo para Diferentes Ordenes de Reacción (n).	47
Cuadro 11 Temperaturas de Ensayo para diferentes productos en estudio.	57
Cuadro 12 Operacionalización de Variables.	61
Cuadro 13 Caracterización del Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	72
Cuadro 14 Perfil de Ácidos Grasos de Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	73
Cuadro 15 Variación del Porcentaje de Ácidos Grasos Libres en el Tiempo a las Temperaturas de Almacenamiento para el Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	74
Cuadro 16 Variación del Índice de Peróxido en el Tiempo a las Temperaturas de Almacenamiento para el Aceite	

virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>)	76
Cuadro 17 Coeficientes de Determinación Lineal del Modelo de Labuza (n=0) de los Factores de Calidad Evaluados para las Temperaturas de Trabajo.	77
Cuadro 18 Constantes Experimental de la Velocidad de Reacción (K) Obtenido para cada Factor de Calidad del Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>)	78
Cuadro 19 Predicción del Tiempo de Vida Útil del Aceite Virgen de Aguaje en Función del % de Ácidos Grasos Libres a Varias Temperaturas de almacenamiento.	81
Cuadro 20 Predicción del Tiempo de Vida Útil del Aceite Virgen de Aguaje en Función del Índice de Peróxido a Varias Temperaturas de Almacenamiento.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Diagrama de Flujo para la Extracción de Aceite de Aguaje - Método Cocción.	67
Figura 2 Frutos de la Fruta de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	68
Figura 3 Aceite Virgen De Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	68
Figura 4 Aceite Virgen de Aguaje.	69
Figura 5 Distribución del Aceite en Envases Ámbar para su Tratamiento.	69
Figura 6 Variación del Porcentaje de Ácidos Grasos Libres del Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	75
Figura 7 Variación del Índice de Peróxido del Aceite Virgen de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa L.f.</i>).	77
Figura 8 Determinación del Valor de Ea para el % de Ácidos Grasos Libres en el producto analizado.	79
Figura 9 Determinación del Valor de Ea Para el % De Ácidos Grasos Libres en el producto analizado.	80

RESUMEN

El aseguramiento de la estabilidad y la calidad de los alimentos es un problema que concierne tanto a productores como a consumidores.

En el caso de grasas y aceites, la oxidación (uno de las fundamentales reacciones en la química de los lípidos) es la principal causa de la pérdida de calidad y esta reacción determina el tiempo de vida de este tipo de producto.

Se determinó la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) virgen, obtenido por medios mecánicos, se tomó dos factores de calidad: % de ácidos grasos libres e índice de peróxido, para evaluar el periodo de vida útil del aceite, para ello se trabajó la variable de temperatura y tiempo mediante pruebas aceleradas.

Para la realización de esta prueba se acondicionó la muestra de aceite en envase de vidrio de color ámbar en presentación de 33 ml cada una, se envaso el aceite hasta ocupar un 90% del volumen total, para luego ser almacenadas en condiciones extremas de temperatura de 45 °C, 55 °C y 65 °C.

Se determinó el intervalo de tiempo óptimo para evaluar las variables de calidad, este fue de 5 días, estableciéndose 6 tratamientos para el porcentaje de ácidos grasos libres y el índice de peróxido.

Se utilizó el modelo matemático de Arrhenius, para determinar la E_a (energía de activación), dando como resultado el valor de 17.44 KJ/mol en base al porcentaje de ácidos grasos libres y de 11.62 KJ/mol para el índice de peróxido. Asimismo, de acuerdo a lo planteado por Labuza y Riboth la cinética de deterioro con respecto al

porcentaje de ácidos grasos libres e índice de peróxido presentó un comportamiento de orden cero.

Empleando el modelo matemático planteado por Arrhenius para cada factor de calidad, se realizó una extrapolación a la temperatura ambiente (18°C) para obtener la velocidad de reacción a dicha temperatura, para luego reemplazarlo en la ecuación de orden cero para el aceite semirrefinado de aguaje. Esto dio como resultado la vida útil en función del porcentaje de ácidos grasos libres de 217 días e índice de peróxido de 272 días.

ABSTRACT

The assurance of stability and quality of food is a problem that concerns both, producers and consumers.

In case of fats and oils, oxidation (one of the fundamental lipid reactions) is the main cause for the loss of quality and this reaction determine the life time of this type of product.

The useful life of virgen aguaje oil (*Mauritia flexulosa* L.F) was determined, it was obtained by mechanical action and two quality factors were taken: percentage of free fatty acids and peroxide index, they were measured in order to evaluate the oil useful live. Two variables like temperature and time were measure by accelerated testing.

In order to carry out this test, the oil sample was conditioned in an amber-color glass container in the presentation of 33 ml each. The oil was filled until a 90% of the total volume and then stored in extreme conditions of temperature of 45 °C, 55 °C and 65 °C.

The optimal period of time was determined to evaluate the quality variables, this was 5 days, establishing 6 treatments for the percentage of free fatty acids and the peroxide index.

The mathematical model of Arrhenius was used to determine the E_a (activation energy), resulting in the value of 17.44 KJ/mol based on the percentage of free fatty acids and 11.62 KJ/mol for the peroxide index. Also, according to Labuza and Riboth the kinetic deterioration regarding to the percentage of free fatty acids and peroxide index was zero order.

Using the mathematical model by Arrhenius for each quality factor, an extrapolation to the environment temperature (18°C) was made to obtain the reaction speed to that temperature, and then replace it in the zero-order equation for the virgen oil aguaje, resulting in the useful life depending on the percentage of free fatty acids like 217 days and peroxide index of 272 days.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En un mundo de consumismo, en el que la duración de las cosas puede haber pasado a un segundo plano, conocer el tiempo que durarán los alimentos ha cobrado gran importancia. Esto puede explicarse por el interés de los consumidores por el cuidado de su salud, lo que los lleva a tomar precauciones para minimizar riesgos de contraer enfermedades por el consumo de alimentos contaminados, o de alimentos procesados.

El aseguramiento de la estabilidad y la calidad de los alimentos es un problema que concierne tanto a productores como a consumidores.

Si los frutos del aguaje sanos y maduros se someten a un proceso simple e inmediato de elaboración: triturado y prensado o centrifugado, el aceite que se obtiene es el que contiene el fruto, sin apenas variación ni modificación. Este aceite contenido en el fruto es el prototipo de calidad. Sin embargo, cuando el fruto del aguaje se deteriora en el campo por plagas, enfermedades, recolección inadecuada, caída al suelo, o se almacena antes de la elaboración, o el proceso de elaboración se realiza sin la suficiente limpieza, etc., el aceite puede adquirir malos sabores y olores, y perder calidad.

Los aceites de aguaje tal y como están contenidos en el fruto sanas y maduras tienen una acidez muy baja. Las hidrólisis provocadas, sobre todo por la actividad microbiológica, elevan la acidez. Además, cuanto mejor sea todo el proceso de extracción del aceite, menor será la acidez del aceite de aguaje crudo obtenido. En general, el incremento en la acidez de un aceite no sólo se debe a la hidrólisis provocada por la actividad microbiológica o por una mala tecnología, sino que influyen también anomalías en el proceso de síntesis biológica dentro del mismo fruto.

En el aceite de palma, se ha demostrado que un mayor tiempo de conservación del fruto influye en la cantidad de ácidos grasos libres del aceite, a causa de la presencia de enzimas lipasas que hidrolizan los triglicéridos descomponiéndolos en glicerina y ácidos grasos. Estas alteraciones reciben comúnmente el nombre de rancidez o enranciamiento por hidrólisis. Los factores que afectan al enranciamiento hidrolítico son la humedad, la temperatura, las enzimas y los microorganismos. Por eso la cuantificación de los ácidos grasos libres de un aceite determina estas alteraciones sufridas por el mismo.

Es de precisar que conocer las tecnologías de conservación permite seleccionar el método más adecuado para extender la vida útil de un alimento. En general, las tecnologías de conservación usan los siguientes mecanismos: Inactivación de los microorganismos, para lo cual pueden emplearse la pasteurización, esterilización, altas presiones hidrostáticas, irradiación; impedir o inhibir el crecimiento bacteriano, para lo cual pueden emplearse refrigeración, congelación, curado, envasado al vacío, envasado en atmósfera modificada, acidificación, fermentación, adición de conservadores; restricción de acceso de los microorganismos a los productos, para lo cual pueden usarse, envasado aséptico, descontaminación de materias primas y ambiente, materiales de empaque.

En la actualidad, para cumplir con las demandas de los consumidores de alimentos con menos procesamiento y uso de aditivos, se pone en práctica la tecnología de obstáculos, que consiste en usar varios factores de conservación en forma conjunta, de tal manera que no se abuse de un solo factor de conservación.

Factores que pueden usarse en forma combinada en un alimento para extender su vida útil: calentamiento, enfriado, actividad de agua, potencial de óxido-reducción, conservadores y flora competitiva.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cómo se determinará la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué metodología se utilizará para determinar la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.)?
- ¿Qué variables de control de calidad me determinan de una manera rápida y precisa la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.)?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), a través del método de pruebas aceleradas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la metodología que permita encontrar el tiempo de vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), en el menor tiempo posible.
- Determinar la vida útil del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), utilizando como factores de calidad el % de ácidos grasos libres y el índice de peróxido.

1.4 Justificación

La necesidad de consumir alimentos en buen estado, sin haber sufrido deterioro alguno, es fundamental en los seres humanos, ya que de ella depende su buena salud. Varios autores señalan que la información presentada en las etiquetas podría tener una influencia importante en la aceptación de los alimentos (Jaeger, 2006), lo que sugiere que las fechas de vida útil podrían significativamente influir en las expectativas de los consumidores y la percepción de los productos alimenticios.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) considera que al hablar de aguaje se hace referencia a la palmera más importante en la Amazonía peruana por su valor económico, social y ecológico.

El aceite extraído del mesocarpio es de alto valor nutricional y medicinal, ya que contiene betacaroteno (provitamina A), que previene enfermedades cancerígenas y del corazón; tocoferol (vitamina E), que fortifica la piel y es un excelente antioxidante.

En este sentido, es importante enfatizar que la no determinación de la vida útil podría acarrear en pérdidas económicas y estancar el desarrollo sostenible de las comunidades de la amazonia que ven en este fruto un medio de sustento para sus hogares, tecnológicamente no sería viable dado de no se puede desarrollar un producto sin saber la caducidad del mismo, evaluar el estudio de vida útil nos permite conocer la interacción del proceso con el producto, el diseño del envase y su implicancia con el producto, asimismo, nos permite valorar la seguridad del producto e indicar el mecanismo probable del deterioro, conocer la vida útil nos permite conocer a detalle los sistemas del producto, su procesamiento y envasado..

Para el desarrollo del presente trabajo se realizaron pruebas aceleradas las cuales se han utilizado ampliamente para observar la

estabilidad de los aceites vegetales; las pruebas aceleradas consisten en experimentos de almacenamiento a condiciones extremas, con el fin de predecir, con un cierto margen de incertidumbre, la estabilidad o pérdida de calidad en el alimento, estas predicciones se darán en un periodo de tiempo mucho más corto que los métodos tradicionales.

Almacenar los productos alimenticios a temperaturas elevadas causará cambios más rápidos, y el alimento se volverá inaceptable en un tiempo más corto que si estuviera almacenado a una temperatura menor. Por lo que se puede deducir que la estabilidad de un alimento depende tanto del tiempo como de la temperatura de almacenamiento.

La variable que más afecta la velocidad de las reacciones de deterioro es la temperatura, los métodos que aceleran el deterioro por efecto de la temperatura se basan en el cumplimiento de la ley de Arrhenius. La ecuación de Arrhenius puede ser utilizada para simular la degradación de los alimentos en un rango de temperaturas. Este modelo se puede emplear para predecir las constantes de la velocidad de reacción y la vida útil de los alimentos a cualquier temperatura dentro de un rango.

Asimismo, de acuerdo a lo establecido en el artículo 5° de la Ley de Inocuidad de los Alimentos aprobado mediante Decreto Legislativo 1062, la misma que señala los proveedores deben suministrar alimentos sanos, siendo responsables directos de la inocuidad de los alimentos, estando obligados a: garantizar y responder en caso de alimentos elaborados industrialmente envasados por el contenido y la vida útil del producto indicado en el envase, en concordancia con el artículo 18 ° de la Norma Sanitaria para la aplicación del sistema HACCP en la fabricación de alimentos y bebidas, aprobado por RM N° 449-2006/MINSA, señala que: En la descripción del producto se incluirá por lo menos lo siguiente: “(...) *Vida útil del producto (fecha de vencimiento o caducidad, fecha preferente de consumo*”.

El presente trabajo beneficiará a las empresas que buscan obtener un valor agregado de esta fruta pues a través de conocer la vida útil del producto, la empresa podrá exportar el producto a mercados más exigentes y con precios más competitivos, generando más empleo e incremento de los recursos de las comunidades de donde proviene la materia prima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

- Gómez Alonso *et al* (2004), **Oxidation kinetics in olive oil triacylglycerol's under accelerated shelf-life testing (25–75° C).**

Estudiaron la oxidación cinética en los triacilgliceroles del aceite de oliva almacenada en la oscuridad a diferentes temperaturas (20, 40, 50, 60 y 75 °C). Después del periodo de inducción (IP), la disminución de los sustratos oxidantes y la formación de los productos primarios de la oxidación siguieron una cinética orden pseudo cero. La formación de los productos secundarios de la oxidación siguió una cinética de orden pseudo primero cuya constante de velocidad de reacción también se incrementó exponencialmente con la temperatura.

- Rondón, E., & Ortega, F. (2004). **Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10.**

Realizaron un estudio de la Vida Útil de un Análogo Comercial de Mayonesa, utilizando el Factor de aceleración Q10, con el objetivo de conocer el comportamiento del producto a diferentes temperaturas de almacenamiento y de esta manera estimar su tiempo de Vida Útil y realizar la predicción del mismo a temperaturas más altas de almacenamiento.

- Baldizón, C. G., & Córdoba, M. E. M. (2008). **Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas.**

Señalaron que la vida útil de una mayonesa se estimó mediante pruebas aceleradas, empleando el índice de peróxido como indicador de deterioro. El producto se almacenó a 21 °C, 35 °C y 45 °C durante 210 días, 90 días y 42 días, respectivamente.

- Ruiz Murrieta, J. (1993). **Alimentos del bosque amazónico**
Señala que el aguaje es la más importante palmera de valor económico y social, que ocupa, una superficie territorial de 6 a 8 millones de hectáreas. En Iquitos, sobre esta especie, se ha organizado toda una red de comercio en varios niveles sociales, que moviliza miles de familias, que, en muchos casos, todos los ingresos económicos dependen de esta palmera.

- Rojas R. R. **Estado del conocimiento sobre el aguaje**. Señala que el aguaje, fue la primera palmera amazónica descrita en el mundo usándose el sistema binomial de clasificación para las plantas, creado por Carlos Linneo en 1753; quien la describió en 1781, estableciéndose el nombre de *Mauritia flexuosa* L. para esta especie.

El hábitat del aguaje es muy variado, desde tierras bajas inundadas permanentemente o estacionalmente hasta los terrenos bajos de tierra firme, desde suelos pantanosos hasta fértiles, por ello se le considera la palmera con la más amplia plasticidad fisiológica.

- Kahn, F. y Moussa, F. **Las palmeras del Perú, colecciones, patrones de distribución geográfica, ecología, estatutos de conservación, nombres vernáculos, utilizaciones**.

Sostiene que los vastos aguajales, por ser zonas pantanosas y de poco valor para la agricultura, limitan seriamente el desarrollo de la Amazonia, y propone un “programa regional de ecodesarrollo”, el cual consistiría en transformar los aguajales en campos agroforestales para aumentar el valor económico de estos suelos “malos”, que no son aptos para la agricultura tradicional.

- Rojas R. *et al* citados por Carlo F., **Industrialización primaria del aguaje *Mauritia flexuosa* L. f. en Iquitos (Perú)**.

Sostienen que, si las demandas actuales de frutos de aguaje continúan en los mercados de la ciudad y no se toman medidas para frenar los niveles actuales de tala, las cosechas probablemente se extenderán a lugares más lejanos del bosque

e impactarán a las poblaciones de fauna silvestre. Los tallos derribados también sirven al poblador local pues dentro de la médula se desarrollan los “suris” (*Rhynchophomspalmarum*), que son grandes larvas blanquecinas de un coleóptero, que se comen fritos o guisados y son una fuente de proteínas.

2.2 Aguaje

El aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), es una palmera dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), tiene una copa esférica y en condiciones naturales puede alcanzar una altura de 35 m. y es la más importante palmera de valor económico, social y ecológico de la amazonia peruana y una de las más importantes en cuanto a área ocupada.

La gran variabilidad genética del aguaje siempre ha llamado la atención de los investigadores y ha sido observado en diferentes países sin embargo hasta la fecha no existe un estudio sistemático sobre ello (Fundación peruana para la conservación de la naturaleza – PRONATURALEZA).

El aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), es una especie nativa amazónica, probablemente originaria de las cuencas de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali en el Perú.

El hábitat donde se desarrolla el aguaje es muy variado, desde las tierras bajas inundadas permanentemente o estacionalmente hasta los terrenos bajos de tierra firme, desde suelos pantanosos hasta fértiles pasando por lodos, suelos arenosos, desde el nivel del mar en la ladera este de los Andes, por lo que se puede afirmar que el aguaje es la palmera con la más amplia plasticidad fisiológica.

Sin embargo, Hirahoka *et al* (1999), citado por Rojas (2000), indica que el aguaje es una de las abundantes palmeras de la planicie inundable de la Amazonía, que está asociada con las tierras siempre

inundadas estacionalmente a menos de 800m de elevación y un promedio de precipitación de 2000 mm la palmera vive encima de 60 años y no parece tener enemigos naturales.

En el Perú, sus frutos son conocidos y usados en diferentes formas en las ciudades ubicadas en la región amazónica. Particularmente, en la ciudad de Iquitos, que sin lugar a dudas puede ser considerada como el mayor centro de consumo de aguaje en el mundo, se concentran los mayores volúmenes de consumo (Rojas *et al.*, 2001).

2.2.1 Características generales

- Sabor agridulce, agradable.
- La pulpa sólo representa un 12% del peso total del fruto.
- Alto contenido de lípidos (21 a 31%) en la pulpa. Bajo contenido de ácidos grasos esenciales. Enranciamiento rápido de la pulpa por su alto contenido graso.
- Conservación cara por que necesita refrigeración, y aun así con fuertes limitaciones de durabilidad, salvo que se usen fijadores de color para pulpa y se homogenice.
- Alto contenido de pro vitamina A (beta caroteno, 30-300mg/100g) en pulpa. El aceite presenta el mayor contenido de vitamina A en el mundo.
- Regular contenido de vitaminas B y C, e importante contenido de minerales, pero mucha variabilidad en estos contenidos nutricionales.
- Contenido relativamente alto de tocoferoles (vitamina E), lo que representa una ventaja para su uso en cosmética.

2.2.2 Aceite de aguaje

Según Roessl (1983) cuando se trata de utilizar industrialmente una determinada especie vegetal, es necesario aplicar básicamente dos

critérios: primero determinar si la especie tiene aptitud industrial y en segundo lugar ver su potencial; la aptitud industrial está referida a determinar si alguno de sus componentes o en su conjunto es aceptado en el mercado, previo proceso de transformación, y el potencial es determinar si se cuenta con los volúmenes suficientes de la materia prima para satisfacer las necesidades del mercado de consumo. El aguaje cumple con los requisitos anteriormente establecidos y el mayor potencial se encuentra en el aceite de la pulpa del mismo.

CUADRO 1
PRODUCCIÓN NACIONAL DE PRODUCTOS DEL SECTOR
GRASAS Y ACEITES. (miles de ton.)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ACEITE VEGETAL	240.5	228.8	248.8	257.4	270.7	286.4	294.4	311.7
MANTECA	74.5	75.1	76.5	76.7	79.7	80.0	80.2	84.1
MARGARINA	21.9	19.8	19.5	19.2	18.1	18.1	18.9	19.9

Fuente: Ministerio de Agricultura – Anuario de Producción Agroindustrial

CUADRO 2
IMPORTACIONES DE ACEITE CRUDO Y REFINADO
(miles de toneladas)

Productos	2012	2013	2014
Aceite soya crudo	335.6	348.1	339.2
Aceite de palma	25.1	31.3	54.6
Grasas y aceites vegetales	3.6	4.3	6.2

Fuente: Ministerio de Agricultura – Anuario de Comercio Exterior

CUADRO 3
CONTENIDO DE ACEITE DEL AGUAJE, SEGÚN AUTORES

Autor – Año	Contenido de aceite (%)	
	Pulpa	Semilla
Balick (1979)	12.0	5.0
Serruya (1979)	35.7	0.04
Roessl (1983)	19	0.1
Domínguez (1984)	15	*
Jordán (1986)	5-6	*
Trebejo (2003)	8-9	*

FUENTE: 1. Balick (1979); 2. Serruya et al. (1979); 3. Roessel (1983); 4. Domínguez (1984); 5. Jordán (1986); 6. Trebejo (2003)

*No reporta

Características fisicoquímicas del aceite de aguaje

El aceite de aguaje presenta características físicas de densidad, color, fluidez, olor y brillo propios del fruto de aguaje. Los ácidos grasos presentes en el aceite están constituidos principalmente por el ácido oleico y el palmítico.

El aceite virgen, extraído del mesocarpio de los frutos maduros del aguaje es muy rico en ácido oleico y es equivalente en términos de composición a los ácidos grasos de los aceites de las semillas oleaginosas tradicionales, por tanto, de óptima calidad alimenticia y de alto valor nutricional. Los ácidos láurico y mirístico están también presentes en el aguaje. En los Cuadros 4 y 5 presentan la composición.

CUADRO 4
COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE AGUAJE

Ácido graso	Porcentaje		
	1	2	3
Acido graso saturado:			
Ac. mirístico	--	0.1	--
Ac. palmítico	16.3	17.34 -19.2	18.00
Ac. Estearico	1.3	2.0	0.20
Acido graso insaturado:			
Ac. palmitoleico	0.4	--	0.10
Ac. oleico	79.2	73.3 –	78.30
Ac. linoleico	1.4	78.73	2.70
Ac. Linolénico	1.3	2.4 - 3.93	0.70

FUENTE: 1. Da Silva F. (2006); 2. Albuquerque, Marcos L; et.al (2005); 3. Onem (1977)

Trejejo (2003) al evaluar las variedades Shambo y Shambo azul en el pericarpio, mesocarpio, endocarpio y almendra indica valores entre 0.1 y 0.4% para el láurico, 15.4 y 29.9% para el ácido palmítico, 0.3 y 1.7 % para palmitoleico, 1.4 y 5.8% de ácido esteárico, 22.2 y 76.5 % de ácido oleico, 1.8 y 44% para linoleico y de 1 a 2% para el ácido linolénico; similares valores a los reportados en los cuadros anteriores.

CUADRO 5
CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN EL ACEITE DE AGUAJE EN
BASE AL ESTADO DE MADUREZ

ACIDOS GRASOS	VERDE	MADURO
Palmítico	8.4	18.0
Palmitoleico	4.4	0.1
Esteárico	2.7	0.2
Oleico	11.0	78.3
Linoleico	4.0	2.7
Linolénico	---	0.7
Láurico	4.2	----
Mirístico	1.9	----
Otros	63.1	----

Fuente: (Villachica et al., 1996).

Los aceites oleicos tienen en su composición básica altos porcentajes de ácidos oleicos y linoleicos y se encuentran en el mesocarpio de muchas palmeras, así como en las semillas de muchas otras especies tales como la soya, maní, tornasol, maíz, algodón, oliva, castaña, casho, lino y sésame; los aceites de estas plantas oleaginosas tradicionales representan más del 90% de la producción mundial de aceites vegetales.

Los aceites láuricos tienen altos porcentajes de ácidos láuricos y mirísticos. Por razones prácticas los aceites láuricos solamente están presentes en el almidón de palmeras y el grueso de la producción mundial está centrado en dos especies: el coco (*Cocos lucífera*) y la palma africana aceitera (*Elaisguineensis*).

Según el Cuadro 6, la composición de ácidos grasos del aceite de aguaje maduro reporta una característica prominente, que es el

elevado contenido de ácido oleico siendo este de 78.3% superando los valores registrados por el aceite de oliva.

CUADRO 6
CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN EL ACEITE DE AGUAJE
(VERDE Y MADURO) OLIVO, SOYA Y ALGODÓN.

Ácido graso	%Ag. verde	%Ag. Maduro	Olivo %	Soya %	Algodón %
Palmitico	8,4	18,0	10,1	9,0	21,0
Palmitoleico	4,4	0,1	1,3	--	--
Esteárico	2,7	0,2	2,0	2,0	2,0
Oleico	11,3	78,3	76,0	32,0	25,0
Linoleico	4,0	2,7	8,5	53,0	50,0
Linolénico	--	0,7	0,5	3,0	--
Láurico	4,2	--	--	--	--
Mistiárico	1,9	--	1,0	--	1,0
Otros	63,1	--	1,0	1,0	1,0

FUENTE: Ruiz, (1991); citado por Villachica et al, (1996).

Según Dos Santos *et al* (1977), citado por Casanave (1980), los tenores de ácidos grasos libres y material insaponificable, así como los índices de yodo, refracción y saponificación varían según las variedades, y dentro de una misma variedad son influenciadas por la localidad de cultivo y los años agrícolas.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica del aceite crudo que se obtiene del mesocarpio del aguaje, se presentan valores reportados por diferentes autores en los Cuadros 7, 8 y 9 a continuación:

CUADRO 7
CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DEL ACEITE DE AGUAJE

Características	Resultados
Color Iovibond	8.4 R" 89A
Olor y sabor	Sui-generis
Índice de acidez (%oleico)	0.3
Índice de peróxido (m.e.q.O₂/kg)	4.7
Densidad relativa a 20°C	0.9122
Índice de refracción a 60°C	1.4565
Punto de saponificación	190
Índice de iodo (wijs)	72
Materias insaponificables (%)	1.0
Resistencia al frío (min)	45

FUENTE: Onern, 1977.

CUADRO 8
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE MESOCARPIO
(VARIEDAD "SHAMBO")

ANÁLISIS	MEDIDA
Índice de refracción Nd 40° C	1,4625
Índice de acidez (% oleico)	0,80
Índice de yodo (wijs)	73
Índice de saponificación	193
Materia no saponificable (%)	0,5
Punto de fusión (METTLER) (°C)	13

FUENTE: Trevejo (2003).

Según Chávez y Pecnik *et al* (1949), citado por Rojas (2000), el aguaje por el contenido de betacaroteno y por las U.I. de vitamina A se constituye en el fruto comestible con mayor reserva de estos componentes en la siguiente tabla se observan estos valores tanto en la pulpa, como en el aceite crudo extraído:

CUADRO 9
CONTENIDO DE BETA CAROTENO Y VITAMINA A EN LA
PULPA Y EL ACEITE DE AGUAJE

Aguaje	Mg. de beta caroteno/100g	U.I. de vitamina A/100g
Pulpa	30,000	50,000
Aceite	300,000	500,000

FUENTE: Chávez y Pecnik (1949), citado por Rojas (2000).

Procesos preliminares en la extracción de aceites

El proceso para la obtención de aceite de aguaje obedece a un proceso sencillo, en el que primero se receptiona los frutos, poniéndose a secar al sol los frutos frescos. Luego se procede a su prensado mecánico para extraer el aceite, principalmente de la pulpa, y se procede a su envase.

El rendimiento en aceite es de menos del 2% del peso total del fruto, lo que significa que se necesita entre 56 y 77 Kg. de fruto para obtener un (1) Kg. de aceite. Esto se traduce en un costo promedio entre 21 y 29 soles por Kg. de aceite solamente en materia prima verde.

2.2.3 Deterioro del aceite

Una de las más fundamentales reacciones en la química de los lípidos es la oxidación. En el curso de la reacción de la autooxidación una serie de compuestos son formados, causando malos olores y rancidez, pérdida del valor nutricional y finalmente el rechazo de los consumidores al producto. La autooxidación es además la principal causa de la pérdida de la calidad de los aceites y esta velocidad de reacción puede ser determinante en el tiempo de vida del producto (Gómez, 2004).

Las grasas y aceites son susceptibles a diferentes reacciones de deterioro que reducen el valor nutritivo del alimento, y además producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables. Esto se debe a que el enlace éster de los acilglicéridos es susceptible a la hidrólisis química o enzimática, y a que los ácidos

grasos insaturados son sensibles a reacciones de oxidación (Badui,1999).

La lipólisis o rancidez hidrolítica y la oxidación o rancidez oxidativa, son los dos procesos más serios que estropean la calidad del aceite. La lipólisis comienza generalmente cuando el aceite todavía está en fruto, mientras que la oxidación se produce después de la extracción y sobre todo durante el almacenamiento. La oxidación puede ocurrir tanto en la oscuridad (autooxidación), como en presencia de la luz (fotooxidación) (Kiritsakis 1991).

Hamilton *et al* (1983); citado por Alvarado (1996) explicó los cambios químicos asociados con la rancidez señaló que es el resultado de reacciones con el oxígeno del aire que corresponde a la rancidez oxidativa, de reacciones hidrolíticas catalizadas por lipasas provenientes del alimento, o de microorganismos. Para el caso de la autooxidación o rancidez oxidativa existen dos etapas: en la primera, el valor de la energía de activación es bajo, entre 17 a 21 (KJ/mol); en la segunda existe un ligero incremento, hasta valores de 25 a 29 (KJ/mol).

Hamilton *et al* (1994) citado por Lee y Choe (2006), señala que la estabilidad oxidativa es un importante indicador para determinar la calidad del aceite y el tiempo de vida, porque el bajo peso molecular y compuestos del mal sabor son producidos durante la oxidación.

Los compuestos del mal sabor hacen al aceite menos aceptable o inaceptable para los consumidores o para el uso industrial como ingrediente alimenticio, la oxidación del aceite también destruye ácidos grasos esenciales y produce compuestos tóxicos y oxidación de polímeros.

Los aceites sufren transformaciones químicas conocidas comúnmente como rancidez, estas transformaciones se han dividido en dos grupos: La lipólisis o rancidez, la autooxidación o rancidez oxidativa; sin embargo, existe una tercera, la reversión que tiene menor relevancia que las dos anteriores (Badui, 2006).

Lipolisis o rancidez hidrolítica.

La hidrolisis es la reacción del agua con una sustancia, como la grasa, dando lugar a ácidos grasos libres, llegándose a producir algunos monoglicéridos y diglicéridos. La hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas, presiones, enzimas, una excesiva cantidad de agua y varios microorganismos (Lawson, 1999).

a) Lipolisis Microbiana

La lipolisis microbiana la producen microorganismos presentes en los frutos, que liberan la enzima lipasa. Kiritsakis (1992), señala que los 130 tipos de bacterias, levaduras y mohos aislados de las aceitunas, el 70% mostraron una muy alta actividad lipolítica, estos microorganismos son tan activos que pueden provocar la hidrolisis de los glicéridos entre la trituración y la separación de las fases líquidas y sólida. Si no se almacena bien los frutos, se favorece el desarrollo de microorganismos y la hidrolisis de los glicéridos del aceite de oliva. En los alimentos pueden existir lipasas de origen exógeno, procedentes de los microorganismos que se multiplican en el alimento, si son muy activos o sus tasas son muy elevadas contribuyen al enranciamiento hidrolítico de las grasas (Ordoñez, 1998).

b) Lipólisis Enzimática

Ordoñez, (1998), señala que la acción de determinadas enzimas y las reacciones químicas rompen el enlace éster de los lípidos y constituyen el fenómeno conocido como lipolisis o enranciamiento lipolítico. La lipólisis disminuye considerablemente la calidad de las grasas destinadas y sobre todo a condimentos y frituras ya que, como consecuencia de la misma, aparte del sabor que puedan impartir

desciende el punto de humo y los alimentos preparados con ellas presentan superficies agrietadas, mayor tendencia al pardeamiento y un aumento del contenido graso debido a la absorción.

Las enzimas lipolíticamente activas pertenecen al grupo de las hidrolasas; las lipasas existen naturalmente entre otros alimentos, en la leche, semillas oleaginosas, cereales, frutas y hortalizas.

Fennema (2000), señala que la hidrólisis de los enlaces ester de los lípidos (lipólisis) se produce por acción enzimática (lipasas) o por calentamiento en presencia de agua y tiene por consecuencia la liberación de ácidos grasos. Las grasas de los tejidos de los animales vivos están prácticamente exentas de los ácidos grasos libres.

La lipólisis o rancidez hidrolítica se debe a la acción de las lipasas sobre los enlaces ester de los triacilglicéridos de las grasas con el incremento de la acidez total y con el deterioro del aroma.

Mediante esta reacción, catalizada por las enzimas lipolíticas llamadas lipasas se liberan ácidos grasos de los triacilglicéridos y de los fosfolípidos. Los principales factores que afectan a la hidrólisis son: Humedad temperatura enzimas y varios microorganismos (Badui, .1999).

Belitz (1992), señala que en la obtención del aceite de palma procedente de la pulpa del fruto los racimos de los frutos se tratan previamente con vapor para inactivar su gran actividad lipasica y para separar la pulpa de la semilla, luego se tritura la pulpa con lo que se favorece a la acción de las enzimas, se hidroliza el enlace ester, se producen ácidos grasos libres e incrementan así el índice de acidez, obteniendo un producto con elevado contenido de carotenoides obteniéndose un color desde amarillo a rojo y mediante la refinación el aceite se blanquea y libera ácidos grasos libres.

c) Oxidación o rancidez oxidativa

El enranciamiento autoxidativo es una de las principales reacciones

de deterioro de los alimentos ya que conlleva a la aparición de los sabores y olores anómalos conocidos genéricamente como a *rancio*. Además, esta reacción de deterioro provoca un descenso de valor nutritivo del alimento al verse implicado entre otros, el ácido linoleico (esencial), y algunos otros productos resultantes de la reacción son potencialmente tóxicos. El enranciamiento limita el tiempo de conservación de muchos alimentos ya que pueden desarrollarse, aunque tengan tan solo un contenido graso de 1%.

La oxidación ocurre como resultado de la reacción entre el oxígeno atmosférico y los ácidos grasos saturados, particularmente los ácidos grasos polinsaturados. Esta oxidación lipídica puede tener gran influencia en la estabilidad de los productos que contengan este tipo de ácidos grasos (Fernández- Espla y Oneill, 1993).

Según Fennema (2000), indica que la oxidación de los lípidos es una de las causas principales del deterioro de los alimentos, da lugar a la aparición de sabores y olores anómalos, generalmente denominados “rancios” (enranciamiento oxidativo), en los alimentos que contienen grasas, deteriorando su calidad organoléptica. La oxidación tiene lugar durante el almacenamiento y da como resultado un olor y aroma desagradable en el alimento los cuales le reducen seriamente la calidad del mismo (Huffman *et al*, 1995).

La autooxidación es una reacción autocatalítica en el cual los hidroperóxidos de los acilgliceroles son producidos y descompuestos en componentes de bajo peso molecular. El bajo peso molecular de estos compuestos contribuye al mal sabor de los aceites y hace al aceite menos aceptable o inaceptable al consumo.

La oxidación de los aceites también destruye los ácidos grasos esenciales y produce polímeros oxidados algunos de los cuales son perjudiciales para la salud (Choe y Lee, 2006).

La autooxidación es un mecanismo que genera compuestos que a su vez se mantiene y aceleran la reacción. La autooxidación se favorece a medida que se incrementa la concentración de ácidos grasos

insaturados (Badui, 1999).

Durante la autooxidación, el oxígeno reacciona con los ácidos grasos insaturados. Inicialmente se forman peróxidos que se descomponen en hidrocarburos, aldehídos, cetonas y cantidades menores de epóxidos y alcoholes. El resultado de la autooxidación de las grasas y aceites es el desarrollo de sabores y aromas desagradables característicos de esta alteración conocida como “enranciamiento oxidativo” (Zilller, 1996).

La presencia de enlaces insaturados en los aceites, si bien les confiere especiales cualidades biológicas, los hace también sensibles al oxígeno dando lugar al fenómeno de la autooxidación (enranciamiento). A este respecto el aceite de palma y aguaje es más estable que otros aceites vegetales, ya que presenta una composición ácida con una insaturación demasiado elevada, mayoritariamente de oleico, que es muchísimo menos reactivo que los ácidos grasos poliinsaturados, y contiene numerosas sustancias antioxidantes (tocoferoles, polifenoles, etc.) que le permiten mantener una buena estabilidad (Tous y Romero, 1993).

El índice de peróxido es una medida de los peróxidos contenidos en el aceite. Debido a la variabilidad del carácter de los peróxidos, que depende de las condiciones de formación, no intentar predecir el estado de oxidación de cualquier muestra de grasa a partir de dicho índice, a menos que la oxidación sea el resultado de una aceleración controlada. Sin embargo, la determinación de peróxidos es probablemente, la mejor herramienta disponible para este fin (Mehlenbacher, 1979).

Factores que favorecen la oxidación del aceite

Según Pereyra (2009), señala que entre los factores que inciden la oxidación se encuentran:

La temperatura cuando se superan los 60 °C, la velocidad de autooxidación se duplica por cada 15°C de aumento, se debe aclarar que la refrigeración y aún congelación no necesariamente inhiben la autooxidación, ya que la presencia de catalizadores y la disponibilidad de los reactivos pueden provocar que se lleve a cabo incluso en estas condiciones.

El cobre y el hierro, promueven el inicio de la autooxidación aun cuando se encuentren en concentraciones menores que 1 ppm, por lo que es muy importante evitar todo contacto con recipientes o equipo elaborado con estos metales. El cobre tiene más especificidad para catalizar la oxidación de las grasas lácteas, mientras que el hierro favorece la oxidación de los aceites vegetales. Los ácidos grasos libres solubilizan estos iones y facilitan su acción catalizadora pues provocan un mayor contacto con el lípido.

La energía radiante de longitud de onda en el ultravioleta es un importante agente que favorece el mecanismo de autooxidación. Mediante la actuación del oxígeno en singlete y las radiaciones de longitud de onda corta o de alta intensidad son potentes aceleradores de las reacciones de oxidación y por ello en la medida de lo posible debe evitarse su incidencia directa en los alimentos susceptibles a la oxidación mediante por ejemplo la utilización de envases transparentes.

La actividad acuosa desempeña un papel importante en la velocidad de la autooxidación. Se considera que con valores de actividad acuosa cercanos a 0.4 se forma una capa monomolecular que actúa como filtro y no deja pasar oxígeno hacia las partes internas donde están los lípidos, si la actividad acuosa es menor, se pierde dicha capa protectora y la oxidación se acelera, cuando la actividad acuosa es menor, se pierde dicha capa protectora y la oxidación se acelera, cuando la actividad acuosa se encuentra entre 0.4 y 0.8, se favorece la reacción debido a que se incrementa la movilidad de los reactivos, se solubilizan los metales catalizadores y se exponen nuevas

superficies del producto por el aumento de volumen causado por la hidratación y dilución de los metales o bien, o bien por la precipitación como hidróxidos.

Cantidad de oxígeno presente, es evidente que la oxidación de la grasa no tiene lugar en ausencia de oxígeno (o aire), por lo tanto, cualquier proceso que se aplique con el fin de disminuir o eliminar el oxígeno en los alimentos, será efectivo para prevenir la oxidación.

Composición de la grasa, el grado de insaturación y el tipo de ácido graso insaturado, influye notablemente en la reacción, así los ácidos linoleico y linolénico se oxidan 64 y 100 veces más rápido respectivamente que el ácido oleico.

Grado de dispersión de los lípidos, se ha comprobado que una superficie proteica retarda la oxidación, mientras que una glucídica la acelera.

Naturaleza del material utilizado en el envasado del alimento.

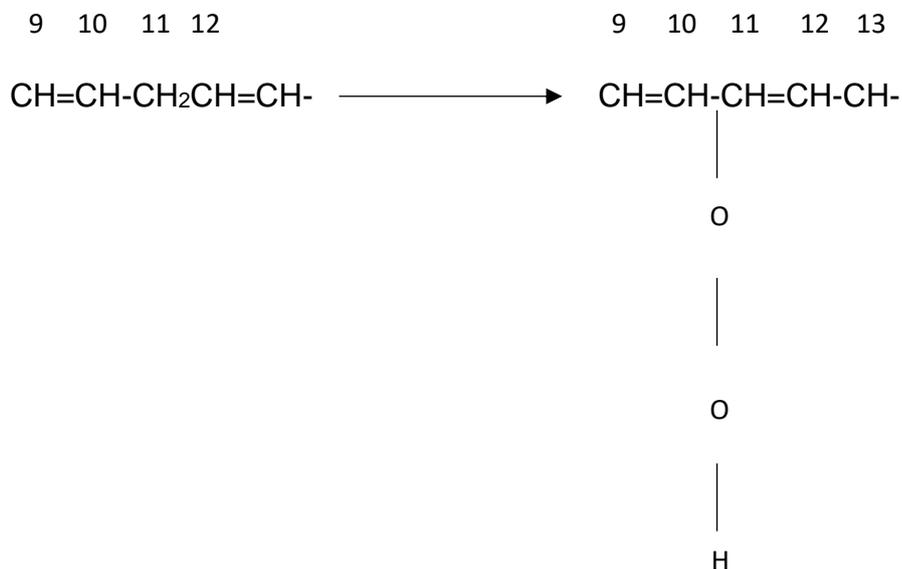
Presencia de agente pro – y antioxidantes de forma natural entre prooxidantes se encuentran además de los metales los grupos hemo de las moléculas de mioglobina y enzimas como las lipoxidasas.

Productos de la descomposición de los peróxidos

Los peróxidos son productos inestables que se descomponen con facilidad. Su descomposición da origen a la aparición de un cierto número de compuestos volátiles (productos secundarios), con un pequeño número de carbonos, responsables del olor y sabor desagradables de los aceites oxidados. Estos estos compuestos son aldehídos, cetonas y ácidos de bajo peso molecular (Kirisakis, 1991). El aumento en el enranciamiento está relacionado con la presencia de ciertos productos de oxidación entre estos productos predominan: 2 – pentanal, hexanal, 2- heptanal, haptanal, 2-octanal y nonanal (Kiritsakis, 1991).

Formación de los hidroperóxidos conjugados

Durante la oxidación del ácido linoléico (18:2), así como de los otros ácidos poliinsaturados, tiene lugar un desplazamiento de los dobles enlaces, con formación de dobles enlaces conjugados.



Efectos nocivos de las grasas oxidadas

Los peróxidos son en general compuestos tóxicos. Los hidroperóxidos del ácido linoleico son de los más tóxicos que se producen en la alteración de las grasas alterándose las vitaminas y la hemoglobina inhibiéndose alguna enzima, oxidan los grupos -SH y pueden ejercer una acción mutagénica (Primo, 1998).

Cuando se oxidan grasas insaturadas, emulsión acuosa, en presencia de proteínas se forman compuestos de condensación de aldehído-amina, entre los productos de oxidación de las grasas y proteínas de elevado valor biológico, en las que, además, la oxidación esta alteración, lo cual se traduce en disminución de la lisina asimilable. La pérdida aumenta considerablemente con la temperatura, así como

también la posible oxidación de los demás ácidos grasos esenciales (Primo, 1998).

Las de contenido alto de peróxido producen en los animales pérdida de apetito, pérdida de peso, alteraciones en los diversos órganos y en casos extremos la muerte de los animales. Los peróxidos ingeridos se acumulan en los tejidos grasos y son nocivos para las membranas celulares; los tocoferoles, la vitamina C, la cisteína y otros reductores, bajan su concentración celular (Primo, 1998).

2.2.4 Tiempo de vida en anaquel

El deterioro de los alimentos se produce por diversos cambios, principalmente en respuesta al crecimiento y metabolismo de microorganismos, la exposición, la cantidad y tipo de luz que recibe el producto, la oxidación de los lípidos y pigmentos, etc. Lo interesante es que la gran mayoría de los cambios son normalmente percibidos por el consumidor mediante el uso de los sentidos (vista, olfato, tacto y oído). Cuando el consumidor rechaza el producto, porque considera que sus características lo hacen inaceptables o porque pone en riesgo su salud, se dice que ha llegado al final de su vida de anaquel o vida útil (López, 2013).

El tiempo de vida en anaquel de un alimento es el periodo entre la manufactura y venta al por menor durante el cual el producto es de calidad satisfactoria (IFT 1974).

Las pruebas de almacenamiento son parte del programa de desarrollo de cada producto, así este incluye un nuevo producto, el mejoramiento de un producto o simplemente un cambio del tipo de especificación en los ingredientes (IFT, 1974).

Dado que todos los productos tienen una vida en anaquel finita y variable se toman precauciones para maximizar el mantenimiento de la calidad, consistente con los costos, patrones de manipuleo y uso por los distribuidores, vendedores y consumidores. Obviamente la

vida en anaquel del producto debe exceder el mínimo tiempo de distribución requerido desde el procesador al consumidor, para darle un razonable periodo de almacenamiento y uso en el hogar (Dethmers, 1979).

Estimación de la Vida Útil del producto

La vida media es un importante aspecto de todos los alimentos. Para su determinación se requiere tener un buen nivel de conocimiento del producto. Esto incluye cultivo, aditivos, manufactura, distribución mayorista, distribución minorista y consumidor.

Una aproximación a la calidad total deberá cubrir todos los aspectos del producto desde la concepción hasta el consumo, pasando por su desarrollo y producción.

Dado que el alimento debe ser seguro y tener una calidad aceptable cuando se consume, el tiempo de vida media es un aspecto esencial del diseño del producto y para su control se requiere de buenas prácticas de manufactura (GMP) y el cumplimiento de estándares internacionales para el sistema de calidad.

Un procedimiento general para estudiar la durabilidad de un producto comprende:

- Análisis general del sistema producto - envase - alimento
- Ensayos generales de almacenamiento y caracterización del alimento
- Definición de la técnica de estudio

El análisis general del producto involucra el estudio de los componentes y la selección de las vías de deterioro, que pueden ser por alteraciones propias del alimento o por cambios que están relacionados con el envase.

Las primeras pueden deberse a:

Ataque microbiano, oxidación hidrólisis y reversión de las grasas, oxidación de pigmentos, reacciones de pardeamiento,

desnaturalización de proteínas, enranciamiento, cristalizaciones y modificaciones coloidales, cambios físicos incluyendo grumos y cambios de textura, actividad enzimática, pérdidas del valor nutritivo. Las que están relacionadas con el envase:

En los envases metálicos puede presentarse corrosión y transferencia de metales del recipiente al alimento, entrada de oxígeno a través del empaque, absorción de agua por el alimento o su pérdida, transmisión de la luz que afectan las reacciones de oxidación, migración de los componentes de los envases de materiales poliméricos al alimento.

El siguiente paso consiste en especificar el nivel donde la calidad del producto se toma inaceptable, bien sea por políticas de calidad de la empresa o por normas oficiales de calidad.

Una vez definidas las vías de deterioro se deben determinar las técnicas de análisis por las cuales se va a estudiar la variable que determina la vida útil del producto; esto puede hacerse por métodos fisicoquímicos y/o sensoriales de evaluación.

A continuación, se elabora un diseño experimental del estudio. Finalmente, se procede al almacenamiento y estudio de las unidades. Para este fin, las muestras deben ser almacenadas bajo condiciones que simulen las de almacenamiento y distribución del alimento.

Para alimentos estables a temperatura ambiente, deben buscarse espacios que mantengan los niveles de humedad y temperatura ambiente requeridos pues el laboratorio generalmente mantiene temperaturas más altas que las normales.

Los alimentos que resulten afectados por la permeabilidad del empaque, deben almacenarse en ambientes con humedad relativa controlada, similar a las condiciones donde va ser distribuido. Para simular las condiciones de almacenamiento los productos con destino a climas tropicales, deberá tenerse en cuenta la temperatura de tales sitios, debido a que ésta acelera los cambios químicos.

Cuando se trate de productos que serán sometidos a largos periodos de almacenamiento consumo combinados, se recomienda practicar

los ensayos de estabilidad sobre la misma unidad. De esta manera se podrá establecer el tiempo de vida del producto una vez desempacado.

Métodos para determinar la vida útil de los productos

La estimación de la vida de anaquel de los alimentos puede hacerse por métodos estadísticos o por modelos matemáticos.

Cuando se utilizan técnicas probabilísticas, se supone que los tiempos de vida de las unidades experimentales se distribuyen de acuerdo a una ley de probabilidad.

Se utilizan principalmente cuando se hace el estudio a través de evaluación sensorial.

Se debe establecer inicialmente el valor donde el producto se considera inaceptable.

La esencia de estos métodos consiste en considerar la vida útil como una magnitud aleatoria y describir su comportamiento mediante un modelo probabilístico.

Los métodos estadísticos se pueden ajustar a las siguientes distribuciones de probabilidad normal, Log-normal, de Weibull, exponencial y del valor extremo

Si se emplean modelos matemáticos, se determina experimentalmente la cinética de la reacción, relacionando magnitudes fisicoquímicas con el tiempo, y con ello se estima la vida media del producto.

El método más común es elegir una situación desfavorable aislada a la que se somete al alimento, realizar dos otros ensayos durante un periodo determinado y generalmente, por métodos sensoriales extrapolar seguidamente los resultados a las condiciones de almacenamiento normal.

El modelo cinético se utiliza para determinar el tiempo de durabilidad considerando un valor crítico, los modelos de cinética química son

aplicables en lo que se refiere a la dependencia de la temperatura, tales como la ecuación de Arrhenius, y recurrir a un diseño más complejo que, aunque más costoso, probablemente da mejores resultados (Fennema, 2000).

Labuza (1986), define que para realizar la predicción de la vida útil del alimento se necesita conocer la siguiente información:

El mejor potencial de pérdida de calidad de un producto.

Los factores de control de la calidad inicial o valor nutricional durante la manufactura.

Las condiciones ambientales en el cual el alimento puede ser expuesto incluyendo la temperatura, humedad relativa y luz

Conocer el empaque en un semipermeable contenido y si la permeabilidad del empaque para el oxígeno, vapor de agua y luz.

Las cinéticas de las reacciones de pérdida de calidad o valores nutricionales como una función de las condiciones de la fase de la reacción en el alimento y el ambiente externo.

Factores que afectan la Calidad de Vida en anaquel

La vida en anaquel esperada de un producto depende, tanto de las condiciones ambientales potenciales a las que el producto será expuesto, como del grado de calidad inicial, que por algunas razones el producto puede perder antes de que el producto pueda ser vendido al consumidor, como una pérdida inaceptable en el sabor, color o desarrollo de una textura indeseable (Labuza y Schmidl, 1985).

La estabilidad y el tiempo de vida útil en los alimentos se puede ver disminuido por:

- Daños por bacterias y la acción enzimática de los alimentos no preservados mediante altas temperaturas, baja actividad de agua o métodos químicos.
- Daños mediante microorganismos de alimentos secos como pasteles mixtos o judías secas.
- Insectos que entran y atacan a los empaques de los alimentos.

- Pérdida de cualidades estéticas, color, sabor, aroma, textura y apariencia general.
- Pérdida de nutrientes como vitaminas y precipitación de proteínas (IFT, 1974).

La vida en anaquel de un producto está básicamente determinada por los componentes del sistema, el proceso de elaboración, el método de empacado, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y almacenamiento. En forma general estos factores pueden ser categorizados en factores intrínsecos y factores extrínsecos, Kilcast y Subramanian *et al* (2000); citado por Chau (2003).

Los factores intrínsecos están constituidos por las propiedades del producto final, como son:

- Actividad de agua.
- pH y acidez.
- Potencial redox.
- Oxígeno disponible.
- Nutrientes.
- Microflora natural y recuento de microorganismos supervivientes.
- Bioquímica de la formación del producto (enzimas, reactivos químicos, etc.).
- Uso de preservantes en la formulación del producto (por ejemplo, sal).

Los factores intrínsecos se encuentran influenciados por variables como tipo y calidad de materia prima, formación del producto y su estructura. Los factores extrínsecos son aquellos que el producto tiene que enfrentar durante la cadena de distribución del mismo, estos incluyen los siguientes:

- Perfil tiempo- temperatura durante el procesamiento, presión del espacio de cabeza.
- Control de temperatura durante el almacenamiento y distribución.
- Humedad relativa durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.

- Exposición a la luz (UV e IR) durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.
- Contaminación microbiana durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.
- Composición de la atmosfera dentro del empaque.
- Tratamiento térmico subsiguiente (es decir recalentamiento o cocción del producto antes de que sea consumido).
- Manipulación del consumidor.

Estos factores operan comúnmente en forma conjunta e impredecible, por lo que debe investigarse la posibilidad de interacción entre ellos. Un tipo de interacción muy útil ocurre cuando los factores como, reducción de la temperatura, tratamiento térmico, acción del antioxidante y empaque en atmosfera controlada, operan con la finalidad de inhibir el crecimiento microbiano, en el llamado “efecto de barrera” (Kilcast y Subramanian, 2000).

La vida en anaquel de un producto está determinada básicamente por su sistema de componentes, el proceso de elaboración, los métodos de empaclado, el tiempo y la temperatura de almacenamiento, el control de estos factores retardará o prevendrá los siguientes efectos (Dethmers, 1979):

- Deterioro por acción bacteriana o enzimática produce sustancias indeseables en el producto que no son inhibidas por tratamientos térmicos, baja actividad de agua o métodos químicos.
- Pérdida de atributos estéticos color, sabor, aroma, textura o apariencia.
- Penetración de insectos o ataque a los productos empaclados.
- Cambios físicos; evaporación de humedad inducida por la cocción, la deshidratación superficial, etc.
- Reacciones químicas, oxidación, hidrólisis, reversión de grasas, oxidación de pigmentos, desnaturalización de estructuras proteicas que conducen a cambios de la textura, pérdida de agua

incorporada, y cambio en propiedades funcionales, enranciamiento o pardeamiento no enzimático.

- Contaminación ambiental debido a polvos y a agentes volátiles.
- Pérdida del valor nutritivo.
- Interacciones entre el producto y el empaque.

Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de calidad de los alimentos.

La cinética química es el campo de la química que se ocupa de la rapidez o velocidad con la que ocurren las reacciones químicas, es decir, la desaparición de reactivos para convertirse en productos, así como de los mecanismos de las mismas. Los cambios que llegan a ocurrir en los alimentos son el resultado de las numerosas y complejas reacciones químicas y bioquímicas acompañadas de los diversos efectos físicos (Alvarado, 1996).

Este método consiste en utilizar un diseño basado en principios de la cinética química y determinar la dependencia de la temperatura real de diversos atributos de calidad; este método da predicciones más exactas, formulaciones más eficaces de productos y la capacidad de optimizar el proceso.

Se define a la velocidad de reacción como la cantidad de sustancia formada (si tomamos como referencia un producto) o transformada (si tomamos como referencia un reactivo) por unidad de tiempo. La velocidad de reacción no es constante.

La medida de velocidad de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, esto es para medir la velocidad de una reacción necesitamos medir, bien la cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo. La velocidad de reacción depende de los reactantes y en algunos casos especiales de los productos, es de esperar entonces que al avanzar la reacción y modificarse las concentraciones, varíe la

velocidad. Por tanto, conviene referirse a la velocidad instantánea, es decir de reacción como derivada de la concentración respecto al tiempo. Dada una transformación química:



La velocidad de reacción será:

$$v = -d\{A\}/dt = -d\{B\}/dt = d\{C\}/dt \quad (2)$$

El signo negativo indica que la concentración de los reactantes {A} y {B}, decrece al transcurrir, por el contrario, el signo de la velocidad será positivo respecto al producto de la reacción {C}, pues su concentración aumenta con el incremento del tiempo.

Por otro lado, en muchos casos se ha determinado en forma experimental que la velocidad de reacción se ajusta a una expresión matemática del tipo:

$$v = k \{A\}^i \{B\}^j \quad (3)$$

En el caso de expresiones cinéticas de este tipo, se define como el orden de reacción a una de las sustancias el exponente al cual se eleva la concentración de dicha sustancia en la expresión cinética.

La constante k de la expresión representa la velocidad específica también llamada constante de velocidad de reacción.

Para el caso de reacciones de un solo reactivo y de orden n , la expresión de la velocidad de reacción puede ser escrita:

$$(-d\{A\}/dt) = k \{A\}^n \quad (4)$$

Según Labuza y Riboh, (1982), la pérdida de la calidad alimenticia para la mayoría de los alimentos puede ser representada por una ecuación matemática de la siguiente forma:

$$\pm \frac{dA}{d\Theta} = kA^n \quad (5)$$

Dónde:

- A : Factor de Calidad medido
- Θ : Tiempo
- k : Constante que depende de la temperatura y la actividad de agua
- n : Factor de potencia llamado orden de reacción, en el cual define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente de A.
- $\pm \frac{dA}{d\Theta}$: Velocidad de cambio de A con respecto al tiempo

El signo negativo es utilizado si el deterioro es una pérdida o destrucción de un atributo o calidad deseable A (ej. Un nutriente o aroma característico) y un signo positivo señala si es por la producción de un producto final indeseable (ej. Perdida de aroma o coloración).

Usualmente los resultados de estos estudios para predecir la pérdida de calidad no son obtenidos como una velocidad sino más bien como una cantidad de A como una función del tiempo. Así para obtener la velocidad de deterioro, uno debe transformar los datos en un gráfico cinético.

Lenz y Lund (1980) mencionan que una vez que se decide terminar la cinética de destrucción de un componente, el diseño experimental esta usualmente basado en una matriz balanceada de muestras en la cual solo una variable (temperatura, tiempo, pH, contenido de humedad) es cambiada a un tiempo, generalmente en un amplio rango.

Orden de reacción

Fennema (2000) menciona que la reducción de calidad puede representarse por una pérdida cuantificable de un atributo de calidad deseable A (ejemplo: un nutriente o aroma característico) o por la formación de un atributo indeseable B (ejemplo: pérdida de aroma o de coloración). Las velocidades de pérdida de A formación de B se expresan con las ecuaciones siguientes:

$$-\frac{d[A]}{d\theta} = kA^n \quad (6)$$

$$\frac{d[B]}{d\theta} = k'B^{n'} \quad (7)$$

El factor [A] y [B] puede medirse como un parámetro químico, físico microbiológico o sensorial, k y k' son las constantes de velocidad de reacción y n y n' son las órdenes de reacción aparente.

El cuadro N° 10 expresa la forma de estas funciones para diferentes órdenes de reacción:

CUADRO 10
ECUACIONES PARA LOS PARAMETROS DE CALIDAD EN FUNCION
DEL TIEMPO PARA DIFERENTES ORDENES DE REACCION (n)

Orden de reacción (n)	0	1	2
Función de calidad	$A_0 - A$	$\ln (A_0 / A)$	$\frac{1}{n-1}(A_0^{n-1} - A^{n-1})$
	$B_0 - B$	$\ln (B_0 / B)$	$\frac{1}{n-1}(B_0^{n-1} - B^{n-1})$

FUENTE: Fennema (2000)

La mayor parte de los datos de la vida útil para el cambio de una característica de calidad basados en una reacción química o crecimiento bacteriano, sigue un modelo de orden cero (n=0) o primer orden (n= 1). Si los datos son de orden cero, se obtiene una gráfica lineal usando coordenadas lineales; mientras que, si los datos son de

primer orden, en coordenadas semilogarítmicas (Log A) para obtener una representación lineal.

En el caso de que los datos sean de segundo orden la representación gráfica de $1/A$ frente al tiempo produce una relación lineal.

Para determinar el orden de reacción aparente se asume diferentes valores de n (0, 1 y más) y se prueba con un gráfico o un ajuste lineal de las ecuaciones, correspondientes al cuadro 2.12, de los datos experimentales. Si el experimento se ha llevado a cabo por lo menos 50% de conversión y preferentemente 75% es normalmente fácil determinar qué orden de reacción da mejores ajustes o gráficamente usando la bondad estadística de criterio de ajuste. El coeficiente de determinación (r^2) de la regresión lineal es en la mayoría de casos un criterio suficiente. La mayoría de los casos un alimento que se ha estudiado se ha caracterizado como pseudo – ceros (velocidad constante de deterioro) o primer orden (velocidad exponencial de deterioro).

Una vez que el orden aparente de reacción de deterioro de la calidad se ha determinado, más allá del análisis estadístico del parámetro k , la constante de velocidad se requiere para conseguir una estimación del error en la determinación de k y la vida en anaquel.

Perdida constante de la vida en anaquel

Reacción de orden cero ($n = 0$)

Para reacciones de orden cero ($n = 0$), el porcentaje de pérdida de vida en anaquel en el tiempo es constante a una temperatura constante. Matemáticamente la ecuación 5 para una reacción de orden cero sería integrada como sigue:

$$\frac{dA}{d\Theta} = k \quad (8)$$

Integrando la ecuación tenemos:

$$\int_{A_0}^A dA = \int_0^{\Theta_s} kd\Theta$$

$$A = A_0 + K\Theta_s \quad (9)$$

Dónde:

- A_0 : Valor inicial de la característica de la calidad
 A : Valor de la característica de calidad en el tiempo Θ
 Θ : Tiempo
 K : Constante de velocidad de orden cero
 Θ_s : vida útil en días, meses o años.

Si al final de la vida en anaquel Θ_s es denotado por el atributo de calidad que alcanza en cierto nivel, se dice que A_e , entonces:

$$A_e = A_0 + k\Theta_s \quad (10)$$

Por consiguiente, la vida en anaquel puede calcularse como:

$$\Theta_s = \frac{A_0 - A_e}{K}$$

Un orden de reacción de $n=0$ es aplicable para las siguientes formas de deterioro (Labuza, 1982):

- Degradación enzimática (frutas frescas y vegetales, algunos alimentos congelados, algunas pastas refrigeradas)
- Pardeamiento no enzimático (cereales secos, productos lácteos deshidratados, alimentos secos para mascotas).
- Oxidación de lípidos (desarrollo de la rancidez en bocaditos, alimentos secos, alimentos para mascotas, alimentos congelados).

Cuando el orden de reacción es cero, el ploteo de la pérdida de la calidad versus el tiempo es lineal en coordenadas cartesianas; donde el valor de k es la pendiente (Labuza, 1982).

Debe tenerse en cuenta que una reacción de orden cero no implica que el mecanismo es un rompimiento monomolecular independiente de la concentración de las especies reactantes.

Función de primer orden ($n = 1$)

La vida en anaquel en muchos casos no sigue una velocidad constante de degradación. El efecto del valor n puede variar para muchas reacciones desde cero hasta cualquier valor fraccional o sobre dos. Muchos alimentos que no se deterioran por orden cero siguen un modelo donde $n = 1$, que resulta en un decrecimiento exponencial en la velocidad de pérdida como calidad decreciente. Esto no significa que la vida en anaquel de alimentos que siguen este diseño es más larga que la de aquellos con una velocidad constante. Desde que el valor de la constante de velocidad k es diferente, matemáticamente para $n = 1$ o una reacción de primer orden, la velocidad de pérdida es (Labuza, 1982):

$$\frac{dA}{d\Theta} = -kA \quad (12)$$

Integrando la ecuación 12:

$$\int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = - \int_0^{\Theta_s} k d\Theta$$

$$\ln A = \ln A_0 - k\Theta_s \quad (13)$$

$$\log A = \log A_0 - \frac{k\Theta_s}{2.30258} \quad (14)$$

Dónde:

A_0 : Valor inicial de la característica de la calidad

A : Valor de la característica de la calidad en el tiempo Θ

- Θ : Tiempo
 K : Constante de velocidad de reacción de orden uno.
 Θ_s : Vida en anaquel en días, meses, años, etc.

Al final de la vida en anaquel Θ_s para un cierto nivel al final del atributo de calidad A_e también se puede escribir la ecuación como:

$$\ln A_e = \ln A_0 + k\Theta_s \quad (15)$$

Tenemos:

$$\Theta_s = \frac{\ln A_0 - \ln A_e}{K} \quad (16)$$

Otra manera de representar el deterioro exponencial es planteando la pérdida de la calidad versus el tiempo sobre un papel semilogarítmico. Los tipos de deterioro que siguen $n = 1$ según Labuza (1982) son:

- Rancidez (aceites de ensalada o vegetales secos).
- Crecimiento microbiano (carne y pescado fresco) y mortalidad (tratamiento térmico).
- Producción microbiana de sabores indeseables y limo, tal como carne, pescado y aves.
- Pérdida de vitaminas (alimentos envasados y deshidratados).
- Pérdida de calidad proteica (alimentos deshidratados).

Factores que influyen en la velocidad de reacción

Existen varios factores que afectan la velocidad de reacción: la concentración de los reactivos, la temperatura, la existencia de catalizadores y la superficie de contacto tanto de los reactivos como la del catalizador.

Estado físico de los reactivos

Si en una reacción interactúan reactivos en distintas fases, su área de contacto es menor y su velocidad también es menor. En cambio, si el área de contacto es mayor, la velocidad es mayor.

No cabe duda de que una mayor área de contacto reduce la resistencia al transporte, pero también son muy importantes la difusividad del reactante en el medio, y su solubilidad, dado que esta es el límite de la concentración del reactante, y viene determinada por el equilibrio entre las fases.

Presencia de un catalizador

Los catalizadores aumentan la rapidez de una reacción sin transformarla, además mejoran la selectividad del proceso, reduciendo la obtención de productos no deseados. La forma de acción de los mismos es modificando el mecanismo de reacción, empleando pasos elementales con menor energía de activación.

Existen catalizadores homogéneos, que se encuentran en la misma fase que los reactivos (por ejemplo, el hierro III en la descomposición del peróxido de hidrogeno) y catalizadores heterogéneos, que se encuentran en distinta fase (por ejemplo, la malla de platino en las reacciones de hidrogenación).

Los catalizadores también pueden llegar a retardar reacciones, no solo acelerarlas, en este caso se suelen conocer como inhibidores.

Concentración de los reactivos

La mayoría de las reacciones son más rápidas cuando más concentrados se encuentren los reactivos.

La obtención de una ecuación que pueda emplearse para predecir la dependencia de la velocidad de reacción con las concentraciones de reactivos es uno de los objetivos básicos de la cinética química.

Esta ecuación que es determinada de forma empírica, recibe el nombre de ecuación de la velocidad. De este modo si consideramos

de nuevo la reacción hipotética la velocidad de reacción “r” puede expresarse como $v = k [A]^m [B]^n$ los términos entre corchetes son las molaridades de los reactivos y los exponentes m y n son coeficientes que, salvo en el caso de una etapa elemental no tienen por qué estar relacionados con el coeficiente estequiométrico de cada uno de los reactivos. Los valores de estos exponentes se conocen como orden de reacción.

Temperatura

Los procedimientos hechos hasta ahora para definir la cinética de la evolución de un atributo asumen que las condiciones ambientales son constantes, pero es un hecho conocido que la temperatura es un factor tan primordial en la velocidad de degradación que su sola manipulación constituye un método de conservación por sí misma.

Fennema (2000) menciona las ecuaciones cinéticas de la vida en anaquel son específicas para el alimento estudiado y las condiciones ambientales empleadas. De los factores no composicionales que llegan a afectar a las reacciones, tales como la temperatura, humedad relativa, presión parcial de los gases de envasado, luz y tensiones mecánicas, el único y normalmente incorporados los modelos de vida en anaquel es la temperatura. Esta afecta intensamente a las velocidades de reacción y es el único factor entre los mencionados que no es afectado por el tipo de materia de empaque del alimento.

Los análisis matemáticos anteriores de pérdida de la calidad asumen una temperatura constante. La influencia de la temperatura a partir de las ecuaciones de cero o primer orden es la constante de velocidad k (Labuza, 1982).

Procedimiento de Arrhenius

La variación de la constante de la velocidad con la temperatura viene recogida en la ecuación de Arrhenius (Labuza, 1982).

$$k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \quad (16)$$

Dónde:

- K_0 : Constante pre – exponencial.
 E_a : Energía de activación en calorías/mol.
 R : Constante de los gases ideales en cal /(mol°K), igual a 1.986
 T : Temperatura en grados kelvin

Esta ecuación (ecuación de Arrhenius) enuncia que un ploteo del logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción ($\ln k$) versus la reciproca de la temperatura ($1/T$), medida en grados Kelvin, genera una línea recta cuya pendiente de la cual es la energía de activación dividida por la constante de los gases ideales R , (1.9872 cal/mol.K o 8.3144 J/mol.K) y al conocer el valor de la pendiente podemos obtener el valor de la energía de activación para dicha recta y mediante la regresión lineal se podrá obtener el valor de la constante pre – exponencial. (Labuza y Riboh, 1982).

De este modo estudiando una reacción y midiendo k (constante de la velocidad) a dos o tres temperaturas elevadas, uno puede entonces extrapolar con una línea recta a una menor temperatura y predecir la constante de velocidad de reacción a la temperatura menor deseada (Labuza y Riboh, 1982).

Una pendiente excesiva significa que la reacción es más dependiente de la temperatura; es decir a mayor incremento de la temperatura, la reacción aumenta a una velocidad mayor. Teóricamente para construir ese ploteo se necesitan: algunas medidas de pérdida de calidad, algún punto final para medir la inacceptabilidad del consumidor, datos para medir el tiempo de llegada a este punto final, experimentos que midan está pérdida por lo menos dos temperaturas.

Labuza y Ragnarsson (1985), estudiaron un sistema modelo conteniendo metillinoleato y utilizaron la información cinética de

Arrhenius para predecir la extensión de la reacción de oxidación a diferentes temperaturas, determinando la constante de velocidad k mediante regresión lineal a partir de la línea que obtuvieron al plotear $\ln(\text{medición}_t)$ versus el tiempo.

Desde el punto de vista teórico, otros modelos diferentes al enfoque $\ln k$ versus $1/T$ (modelo de Arrhenius) pueden ser utilizados para determinar la interacción de la constante de velocidad k y la temperatura, según Labuza y Riboh (1982) la pendiente de $\ln k$ versus $1/T$ puede no ser siempre una línea recta, pero podría ser también una función de la temperatura.

Fennema (2000) señala que cuando se aplica técnica de regresión, reutiliza el análisis estadístico para determinar el 95% de los límites de confianza de los parámetros de Arrhenius. Si solo se dispone de tres valores de k , el rango de confianza normalmente es grande. Para obtener límites de confianza estrechos y significativos en E_a y k_a , se necesitan velocidades a más temperaturas. Se ha propuesto que cinco o seis temperaturas experimentales dan el cociente óptimo práctico de exactitud, frente a la cantidad de trabajo experimental. Mientras más temperaturas sean usadas mayor será la significancia estadística de los datos. Limitándose a tres temperaturas experimentales debido al coste y/o dificultad de disponer incubadoras a seis temperaturas constantes, pueden utilizarse diversos métodos estadísticos para aumentar la exactitud, uno de los cuales es considerar cada par de datos (punto) como una estimación independiente de k .

Tan *et al.* (2001), señala que la dependencia de la temperatura puede ser evaluada mediante la aplicación de la ecuación de Arrhenius y la velocidad de reacción absoluta de un complejo teórico activado. Además, que la energía de activación para aceites altamente insaturados es significativamente más alta que los aceites con menos cantidades de ácidos grasos insaturados.

Fennema (2000), señala que la oxidación de los lípidos y pérdida de nutrientes tiene una energía de activación de 83.7 KJ/mol (20 Kcal.).

Etapas de ensayo de vida útil principios de las Pruebas Aceleradas de Vida útil - PAVU

Fennema (2000), recomienda que al diseñar pruebas de vida útil basadas en la pérdida de calidad de los alimentos deben seguirse los pasos siguientes:

Determinar la sanidad microbiológica y los parámetros de calidad de la formulación y procesos propuestos.

Determinar analizando los ingredientes y el proceso, cuáles son las principales reacciones químicas que probablemente determina la pérdida de calidad. Un requisito obligatorio es la búsqueda bibliográfica. Si en esta fase se encuentran problemas potenciales importantes, la formula debe cambiarse si es posible.

Seleccionar el envase a usar en la prueba de vida útil. Los productos congelados y los enlatados pueden envasarse en el envase definitivo. Los productos desecados deben exponerse abiertos en cámaras a un porcentaje de humedad relativa (%HR) predeterminado o en tarros herméticos impermeables al contenido de humedad y a_w deseados.

Seleccionar las temperaturas de almacenamiento (al menos dos) Normalmente se eligen las siguientes:

CUADRO 11
TEMPERATURAS DE ENSAYO PARA DIFERENTES PRODUCTOS EN ESTUDIO

PRODUCTO	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	CONTROL (°C)
Enlatado	25, 30, 35, 40	4
Deshidratados	25, 30, 35, 40, 45	-18
Congelados	-5, -10, -15	< -40

Fuente: elaboración propia

Usando la representación gráfica de la vida útil y conociendo la vida útil deseada a la temperatura media de distribución, determinar cuánto tiempo deberá mantenerse a cada una de las temperaturas de ensayo. Si no se dispone de información sobre el valor Q_{10} probable entonces se necesitan más de dos temperaturas de ensayo.

Decidir los ensayos y la frecuencia de realización a cada temperatura. Como regla general el intervalo de tiempo entre pruebas a cualquier temperatura por debajo de la temperatura más alta no debe ser superior a:

$$f_2 = f_1 Q_{10}^{\Delta T/10}$$

Donde f_1 es el tiempo entre ensayos (ejemplo: días, semanas), a las temperaturas más alta T_1 ; f_2 es el tiempo entre ensayos a cualquier temperatura más baja T_2 ; ΔT es la diferencia en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) entre T_1 y T_2 .

Representar gráficamente los datos a medida que se obtienen para determinar el orden de reacción y para decidir si la frecuencia de ensayo debe aumentarse o reducirse.

A partir de cada situación de almacenamiento ensayada, determinar la constante de velocidad de reacción (k) o la vida útil, hacer la representación gráfica de vida útil y determinar la vida potencial en la situación de almacenamiento deseada (final o definitiva).

Métodos estadísticos aplicados a la determinación del tiempo de vida en anaquel de los alimentos.

Un requisito fundamental en el análisis de datos es conocer la distribución estadística de las observaciones.

La esencia de los métodos estadísticos para la estimación del tiempo de vida consiste en considerar la vida útil del producto como magnitud aleatoria y describir su comportamiento mediante un modelo probabilístico. Las distribuciones de probabilidad no son más que funciones que expresan cuantitativamente, la probabilidad

Que la variable aleatoria tome determinados valores mediante relaciones matemáticas entre sus parámetros, los cuales son específicos para cada distribución (Gacula y Kubala, 1975).

Los modelos estadísticos que modelan la vida en anaquel (o vida útil), pueden ser escogidos por una o más de las siguientes tres razones:

1. Existe un argumento físico/estadístico que correlaciona teóricamente el mecanismo de falla con el modelo estadístico.
2. Se ha usado anteriormente y con éxito el modelo estadístico en particular para el mismo mecanismo de falla.
3. El modelo provee un buen ajuste empírico de todos los tiempos de falla.

Análisis de Correlación.

El análisis de correlación emplea métodos para medir la significación de grados o intensidad de asociación entre dos o más variables. El concepto de correlación está estrechamente vinculado al concepto de regresión pues para que una ecuación de regresión sea razonable los puntos muestrales deben estar ceñidos a la ecuación de regresión además el coeficiente de correlación debe a), grande cuando el grado de asociación es alto (cerca de +1 o -1, y pequeño cuando es bajo, cerca de cero b) independiente de las unidades en que miden las variables.

El coeficiente de correlación asociado con el ajuste de datos en el ploteo de probabilidad es una medida de bondad de ajuste, aquella que tenga el más alto coeficiente de correlación será la mejor elección dado que generara una línea más recta (Gacula y Kubala, 1975)

2.3 Definición de términos básicos

- *Tiempo de vida útil*: el tiempo de vida útil es el periodo entre la manufactura y venta al por menor durante el cual el producto es de calidad satisfactoria (IFT, 1974).

La vida de útil de un producto alimenticio se define como el período de tiempo a partir de la fecha de producción, durante el cual éste mantiene una calidad aceptable, o como el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva óptimo para el consumidor.

La vida útil de un producto, también se entiende como la durabilidad; concebida ésta como el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, y mantiene sus características sensoriales y funcionales por encima del grado límite de calidad previamente establecido como aceptable. (Giraldo, 1999).

- *Modelo de Arrhenius*: modelo el cual proporciona datos de la constante de velocidad con respecto a la temperatura de crecimiento. Se basa en que, a mayores temperaturas, la probabilidad de que crezca un microorganismo es mayor, el crecimiento generará energía cinética y tendrá un efecto en la energía de activación de las reacciones metabólicas para activar el crecimiento microbiano (Labuza y Riboth, 1982)
- *Velocidad de Reacción*: la cantidad formada (si tomamos como referencia un producto) o transformada (si tomamos como referencia un reactivo) por unidad de tiempo. La velocidad de reacción no es constante.
- *Fecha de consumo preferente*: Fecha a partir de la cual las propiedades físico-químicas y organolépticas del producto (sabor, color, olor o textura) empiezan a modificarse y pueden ser percibidas de forma negativa por el consumidor.

- *Aguaje*: El aguaje *Mauritia flexuosa* L.f., es una palmera que pertenece a la familia de las *Arecaceae*, se le encuentra en los países tropicales y subtropicales y de sus frutos maduros se obtiene aceite virgen de óptima calidad alimenticia (IIAP, 2000), y es la más importante palmera de valor económico, social y ecológico de la amazonia peruana y una de las más importantes en cuanto a área ocupada.
- *Índice de peróxido*: Es el número de mili equivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra.
- *Índice de Acidez*: Es uno de los valores más importantes, pues permite definirla calidad del aceite. Los aceites demuestran su acidez según el grado de hidrólisis de sus ácidos grasos.
- *Lipolisis microbiana*: La lipolisis microbiana la producen microorganismos presentes en los frutos, que liberan la enzima lipasa. Kiritsakis (1992), señala que los 130 tipos de bacterias, levaduras y mohos aislados de las aceitunas, el 70% mostraron una muy alta actividad lipolítica, estos microorganismos son tan activos que pueden provocar la hidrólisis de los glicéridos entre la trituración y la separación de las fases líquidas y sólida. Si no se almacena bien los frutos, se favorece el desarrollo de microorganismos y la hidrólisis de los glicéridos del aceite.
- *Lipolisis enzimática*: Ordoñez (1998), es el rompimiento de los enlaces ester de los lípidos por acción de determinadas enzimas y las reacciones químicas.

III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables independientes

- Temperatura de almacenamiento (45° C, 55° C y 65° C)

3.2 Variables dependientes

- Vida útil en función a la acidez libre
- Vida útil en función del índice de peróxido

3.3 Operacionalización de Variables

CUADRO 12
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Método
X: Temperaturas de almacenamiento	X ₁ :45° C X ₂ :55° C X ₃ :65° C	°C °C °C	Control
Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Método
Y1: Vida útil en función al % de ácidos grasos libres.	Y _{1.1} : % de Ácidos grasos libres	Expresados como % acido oléico	Instrumental
Y2: Vida útil en función del índice de peróxido.	Y _{2.1} : Índice de Peróxido	Miliequivalentes de Óxigeno activo / kg de Aceite	Instrumental

Fuente: Elaboración propia

3.4 Hipótesis general

Mediante la utilización de la metodología de pruebas aceleradas se determinara la vida útil del aceite virgen de aguaje (*Mauritixia flexuosa*).

3.5 Hipótesis específicas

- Mediante la metodología de pruebas aceleradas, el Modelo de Arrhenius y condiciones controladas de temperatura y tiempo se determinará en un corto periodo la vida útil del aceite virgen de aguaje.
- A través de los factores de calidad como el porcentaje de ácidos grasos libres y el índice de peróxido me permitirá evaluar la vida útil del aceite virgen de aguaje.

IV METODOLOGIA

4.1 Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo experimental, analítico y prospectivo.

4.2 Diseño de la Investigación

Se tuvo un diseño de tipo experimental completamente al azar, se han considerado tres grupos experimentales medidos a temperaturas de 45°C, 55°C y 65°C, observándose a los 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días, a través de los métodos analíticos (índice de peróxido y % de ácidos grasos libres) los cuales fueron tomados por triplicado y los datos obtenidos de los ensayos fueron procesados mediante la ecuación de Arrhenius para así estimar la vida útil del aceite de aguaje.

4.3 Población.

La producción mensual promedio de aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) por la empresa CANDELA asciende a mil litros.

4.4. Muestra

Para efectos de este estudio de los mil (1000) litros de producción mensual se utilizó un litro y medio (1.5 lt.) del producto aceite de aguaje proporcionado por la empresa CANDELA.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Caracterización del aceite virgen del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*)

La obtención del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) fue realizado a través del método de cocción, la extracción se realizó siguiendo el diagrama de flujo de acuerdo a la figura 1, la extracción se realizó a través de un prensado y un tratamiento térmico, el fruto es sometido a un tratamiento térmico o cocción con la finalidad de una extracción rápida, asimismo, aumenta el rendimiento de la extracción, el efecto del tratamiento térmico en la extracción juega un rol importante en este método, debido a que permite la dilatación de las gotas de aceite permeabilizando las membranas celulares para facilitar la salida del mismo, disminuye la afinidad del aceite para superficies solidas de las semillas y los rendimientos son más elevados, destruye los microorganismos, coagula las proteínas, inactiva las enzimas, aumenta la fluidez del aceite y precipita los fosfatos. (http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/aula_7_ac_eites.pdf)

Cabe precisar que el mencionado producto proviene de las comunidades localizados en las áreas remotas y vírgenes de la Región Loreto, dado a ello se referencia el método de extracción, esto supone productores en pequeña escala que tienen acceso a las materias primas, ayuda a asegurar que las semillas de aceite percederas se elaboren rápidamente, y reduce los costos de transporte. En las comunidades rurales o urbanas pobres, los aceites vegetales sin refinar contribuyen considerablemente a la cantidad total de aceite consumido. Los aceites crudos son asequibles a los grupos con bajos ingresos y son una importante fuente de b -carotenos y tocoferoles (FAO, 2012).

En la figura 1, se muestra el diagrama de flujo que se utilizó para la obtención del aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), por método de cocción los cuales se describen a continuación:

Recepción: los frutos recolectados son transportados y recepcionados hasta el establecimiento de producción de la empresa Candela para su clasificación y posterior proceso.

Pesado 1: los frutos de aguaje se pesaron en una balanza marca Sartorius Modelo L 210 S para conocer la cantidad inicial de materia prima con la que se inicia el proceso.

Selección: se procedió a seleccionar y clasificar para su posterior proceso.

Lavado y desinfección: los frutos una vez pesados y seleccionados se lavaron con agua potable para eliminar la tierra luego fueron desinfectados con hipoclorito de sodio a 50 ppm durante 5 minutos después fueron enjuagados para eliminar todo residuo de hipoclorito de sodio.

Maduración y escurrido: una vez lavados y desinfectado los frutos estos se procedieron a acondicionar bajo una inmersión en agua a 70°C x 15 min. con la finalidad de producir un ablandamiento en la textura del fruto.

Despulpado: los frutos fueron pulpeados a través de la pulpeadora obteniéndose pulpa más cáscara y separando la semilla.

Prensado: esta operación se realizó utilizando una prensa hidráulica, capacidad 5 kg.

Reposo 1: esta operación se realizó por un tiempo de 2 horas con la finalidad de eliminar materia extraña que haya podido quedar en el aceite.

Tratamiento térmico 1: El producto una vez extraído se calentó a una temperatura en vapor de 95 °C a un tiempo de 3 horas

Primer filtrado: una vez extraído el aceite pasa por un primer filtro para retener las partículas gruesas que pudiera tener el aceite.

Tratamiento térmico: el aceite luego de ser filtrado, se calentó hasta una temperatura de 30 °C por 10 minutos, para luego pasar por un tratamiento térmico de 130 °C por 10 minutos, se realizó esta operación con la finalidad de desactivar las enzimas para estabilizar

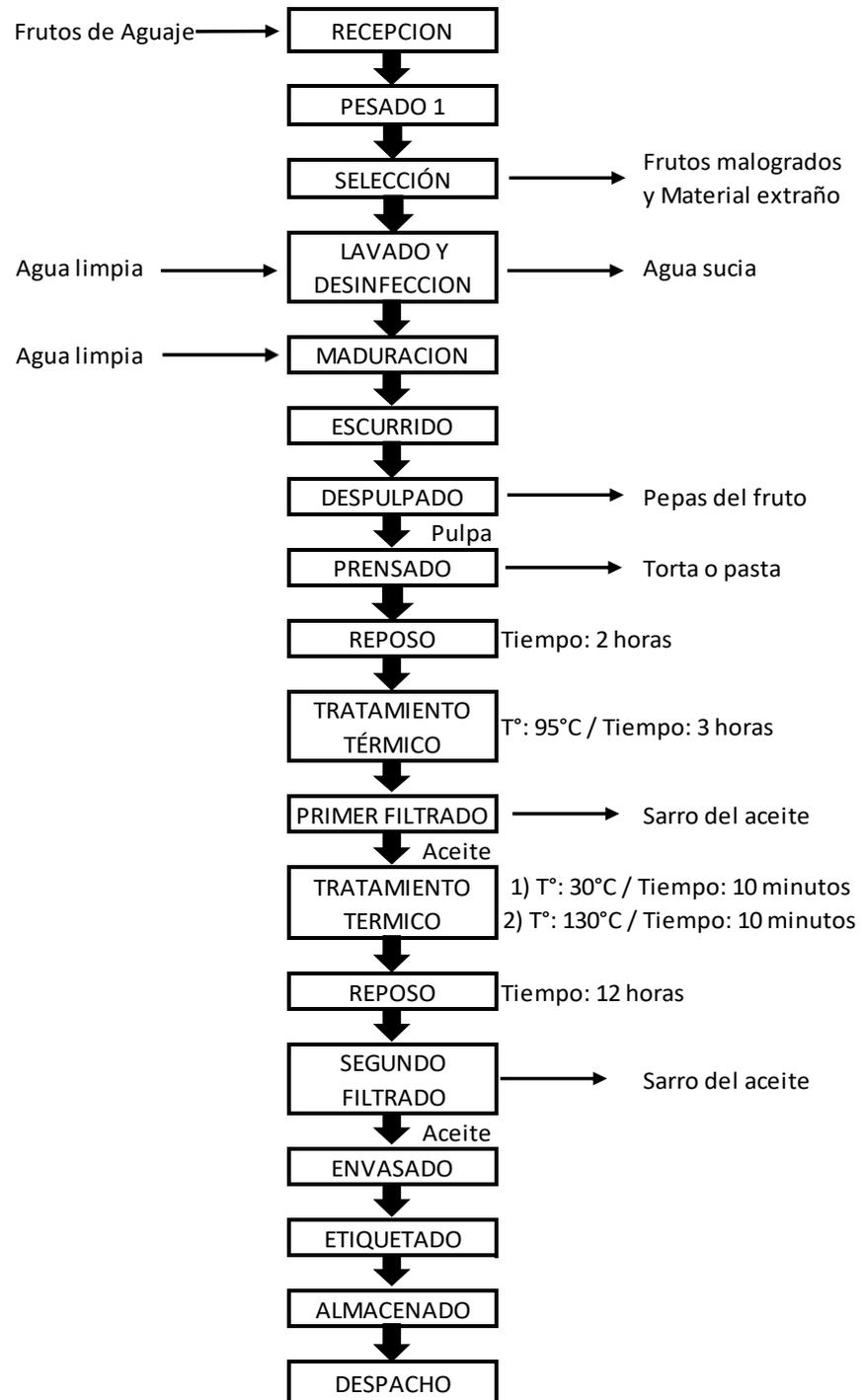
la calidad del aceite en cuanto a la formación de ácidos grasos libres (a.g.l.).

Reposo 2: esta operación se realizó por un tiempo de 12 horas con la finalidad de eliminar materia extraña que haya podido quedar en el aceite luego del tratamiento térmico.

Segundo filtrado: una vez extraído el aceite pasa por un segundo filtro para retener las partículas que haya podido tener el aceite, este filtrado se realizó a través de una bomba de vacío.

Envasado: se realizó el envasado en botellas Pet en presentación comercial de 1 litro y ½ litro, para la presente investigación se realizó en botellas de vidrio color ámbar en presentaciones de 33 ml cada una.

FIGURA 1
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EXTRACCION DE ACEITE DE
AGUAJE - METODO COCCION



Fuente: elaboración propia

FIGURA 2
FRUTOS DE LA FRUTA DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)



FIGURA 3
ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)



FIGURA 4
ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)



FIGURA 5
DISTRIBUCIÓN DEL ACEITE EN ENVASES AMBAR PARA SU TRATAMIENTO



Para la recolección de datos se obtuvo a través de los siguientes análisis dispuestos en las siguientes metodologías:

- Índice de Peróxido; se determinó de acuerdo al Método 3960:2007
- Índice de acidez; se determinó de acuerdo al Método NTP 209.005:1968 (revisada el 2016) ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método para la determinación de la acidez libre.

Conducción de pruebas para la determinación de la vida útil

Se desarrollaron pruebas preliminares con el objetivo de establecer las temperaturas y tiempos de almacenamiento de las muestras para la determinación de la vida útil del aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), mediante pruebas aceleradas, se evaluó el deterioro de las muestras teniendo como factores de calidad el % de ácidos grasos libres y el índice de peróxido.

Como resultado de estas pruebas preliminares se establecieron temperaturas de almacenamiento de 45°C, 55°C y 65°C a intervalos de tiempo de 5 días para cada factor de calidad evaluado (% de ácidos grasos libres y el índice de peróxido).

Se determinó el orden de reacción mediante el método de integración planteado por Labuza (1982) y aplicado por Alvarado (1996), de acuerdo a los factores de calidad tomados (% de ácidos grasos libres y el índice de peróxido), debido a que son los parámetros de calidad de los aceites más idóneos y de practica determinación.

Asimismo, de los datos resultantes en los análisis obtenidos en el laboratorio se utilizó mediante la cinética de reacciones, este método consiste en utilizar un diseño basado en principios de la cinética química y determinar la dependencia de la temperatura real de diversos atributos de calidad, lo cual nos permitió determinar la

constante de velocidad de reacción (k) y el orden de reacción (n), para finalmente determinar el tiempo de vida útil (Θ_s). Se utilizó la ecuación de Arrhenius para determinar la interacción de la constante de velocidad de reacción (k) y la temperatura, además nos permitirá conocer la energía de activación (E_a) para el aceite de aguaje.

4.6 Plan de análisis estadísticos de datos

Para el procesamiento estadístico se aplicó el análisis de varianza, poniendo a prueba de significación estadística de las varianzas.

V. RESULTADOS

5.1 Caracterización del Aceite virgen de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.).

Luego de la obtención del aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), se procedió a la caracterización del aceite los cuales y detallan en el Cuadro N° 13

CUADRO 13
CARACTERIZACION DEL ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)

Producto:	Aceite de aguaje
Lote:	312002136
Fecha de análisis:	15/05/2017
Lugar de muestreo:	CANDELA S.A. C.
Lugar de muestreo:	Laboratorios de empresa CANDELA S.A. C.
Test	Resultado
Contenido de Ácidos Grasos Libres ^a	1.62 %
Índice de Peróxido ^b	2.04 mEq O ₂ /kg
Estado físico	Líquido viscoso
Olor	Característico
Color	Naranja

a) AOCS Ca 5a – 40, Fifth Edition 1998, Free Fatty Acids

b) AOCS Cd 8 – 53, Fifth Edition 1998. Peroxide Value Acetic Acid – Chloroform Method

CUADRO N° 14
PERFIL DE ACIDOS GRASOS DE ACEITE VIRGEN DE AGUAJE
(Mauritia flexuosa L.f.)

NOMBRE	% COMPOSICION
C14:0 Ácido Mirístico	0.06
C16:0 Ácido Palmítico	17.81
C16:1 Trans (Ácido Graso Trans)	0.09
C16:1 Cis Ácido Palmitoleico	0.23
C17:0 Ácido Margárico	0.09
C17:1Cis Ácido Heptadecanoico	0.05
C18:0 Ácido Estearico	2.17
C18:1 Cis Ácido Oleico (Omega 9)	75.86
C18:2 Ácido Linoleico (Omega 6)	1.77
C18:3 Cis Ácido α - Ácido Linoleico (Omega 3)	1.35
C20:0 Ácido araquidónico	0.09
C20:1Cis Ácido Eicosanoico	0.34
C22:0 Ácido docosanoico	0.04
C24: 0 Ácido Linolénico	0.04
Total	100

Fuente: Candela S.A.

Los resultados obtenidos según cada factor de calidad evaluado con respecto al tiempo de las tres temperaturas de trabajo se detallan en los cuadros 15 y 16

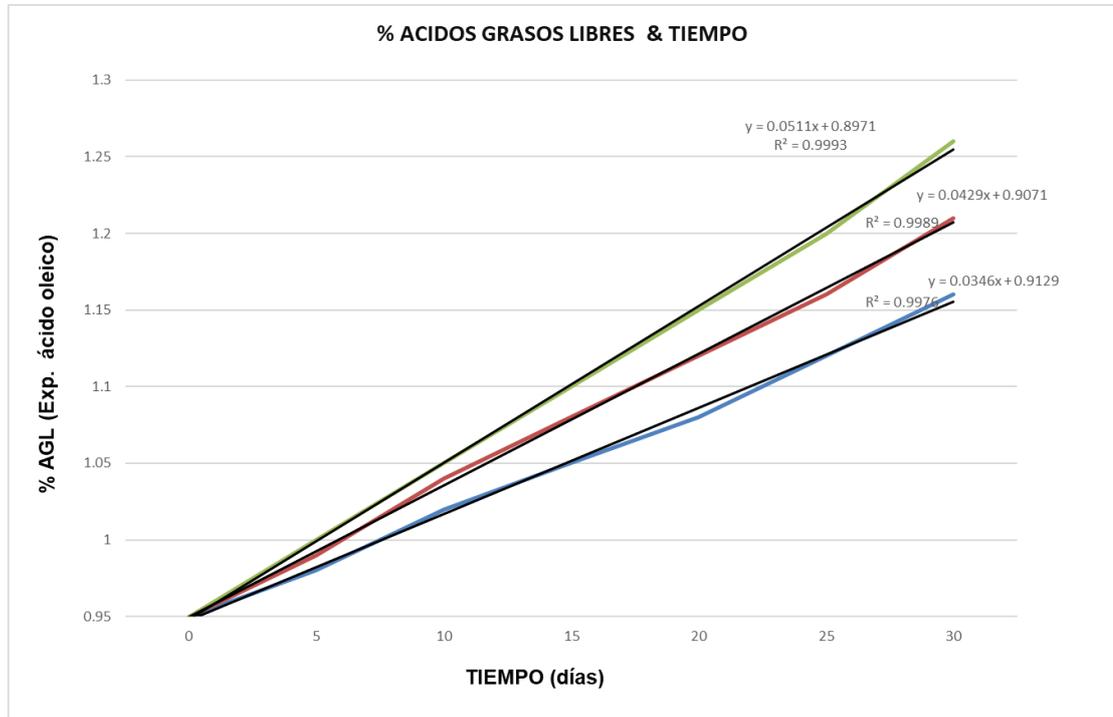
CUADRO N° 15

VARIACION DEL PORCENTAJE DE ACIDOS GRASOS LIBRES EN EL TIEMPO A LAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO PARA EL ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa L.f.*)

TIEMPO (DIAS)	ACIDEZ LIBRE (%EXP. AC. OLEICO)					
	45 ° C		55° C		65° C	
		PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO
0	0.94	0.95±0.01	0.95	0.95±0.02	0.95	0.95±0.01
	0.96		0.93		0.94	
	0.95		0.97		0.96	
5	0.97	0.98±0.01	0.97	0.99±0.02	1.00	1.00±0.01
	0.98		1.00		0.99	
	0.99		0.99		1.00	
10	1.02	1.02±0.02	1.03	1.04±0.01	1.05	1.05±0.01
	1.04		1.04		1.04	
	1.00		1.05		1.06	
15	1.05	1.05±0.00	1.08	1.08±0.02	1.08	1.10±0.02
	1.05		1.10		1.12	
	1.05		1.06		1.10	
20	1.1	1.08±0.02	1.10	1.12±0.02	1.15	1.15±0.01
	1.07		1.13		1.16	
	1.06		1.12		1.14	
25	1.12	1.12±0.02	1.14	1.16±0.02	1.19	1.20±0.01
	1.13		1.17		1.21	
	1.10		1.18		1.19	
30	1.14	1.16±0.02	1.21	1.21±0.02	1.24	1.26±0.02
	1.17		1.19		1.27	
	1.18		1.23		1.28	

Fuente: elaboración propia

FIGURA 6
VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES DEL
ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)



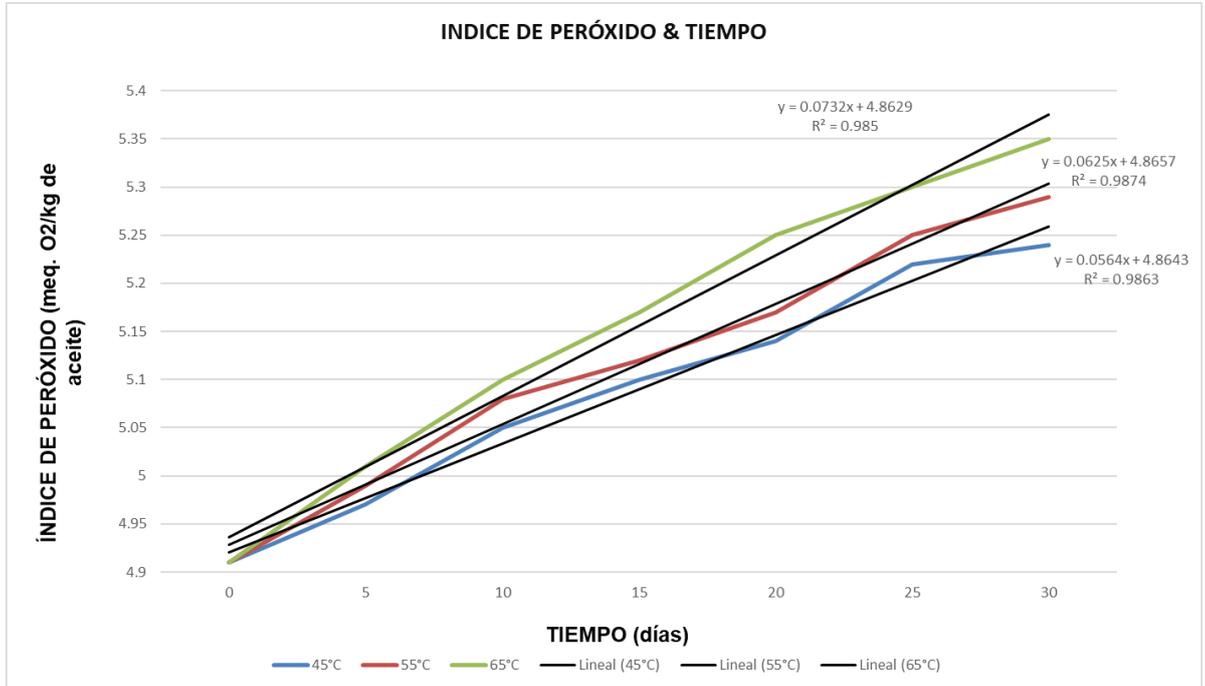
45°C ———
55°C ———
65°C ———

CUADRO N° 16
VARIACION DEL INDICE DE PERÓXIDO EN EL TIEMPO A LAS
TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO PARA EL ACEITE VIRGEN
DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)

TIEMPO (DIAS)	ÍNDICE DE PEROXIDO (meq O2/kg aceite)					
	45 ° C		55° C		65° C	
		PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO
	4.90		4.91		4.91	
0	4.91	4.91± 0.0058	4.91	4.91± 0.0058	4.91	4.91± 0.0058
	4.91		4.92		4.90	
	4.97		4.98		5.02	
5	4.97	4.98± 0.0115	4.99	4.99± 0.0058	5.01	5.03± 0.0265
	4.99		4.99		5.06	
	5.03		5.09		5.12	
10	5.05	5.04± 0.0100	5.08	5.09± 0.0100	5.10	5.12± 0.0153
	5.04		5.10		5.13	
	5.10		5.11		5.18	
15	5.10	5.11± 0.0115	5.12	5.12± 0.01	5.17	5.18± 0.0153
	5.12		5.13		5.20	
	5.13		5.15		5.23	
20	5.14	5.14± 0.01	5.17	5.16± 0.01	5.25	5.25± 0.02
	5.15		5.16		5.27	
	5.22		5.24		5.28	
25	5.22	5.21± 0.0115	5.25	5.25± 0.0058	5.30	5.31± 0.02
	5.20		5.25		5.32	
	5.23		5.28		5.37	
30	5.24	5.23± 0.0100	5.29	5.29± 0.0153	5.35	5.36± 0.01
	5.22		5.31		5.36	

Fuente: elaboración propia

FIGURA 7
VARIACION DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO DEL ACEITE VIRGEN DE
AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.)



CUADRO 17
DETERMINACION DEL ORDEN DE REACCIÓN (n) ATRAVÉS DEL
COEFICIENTE DE DETERMINACION (r²) PARA EL % DE ACIDOS
GRADOS LIBRES E INDICE DE PERÓXIDO

n	% Acidos Grasos Libres			Índice de Peróxido		
	r ²					
	45°C	55°C	65°C	45°C	55°C	65°C
0	0.9967	0.9982	0.999	0.9804	0.9873	0.9876
1	0.9975	0.9972	0.9996	0.9793	0.9864	0.9856

Fuente: elaboración propia

Determinación de las constantes de velocidad de Reacción (k)

En el Cuadro N° 17, se pueden observar las constantes de velocidad de reacción para cada temperatura de almacenamiento, luego del análisis de regresión lineal aplicados a los valores experimentales para cada factor de calidad.

CUADRO 18

CONSTANTES EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN (k) OBTENIDO PARA CADA FACTOR DE CALIDAD DEL ACEITE VIRGEN DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa L.f.*)

VELOCIDAD DE REACCIÓN	K		
	45°C	55°C	65°C
% de Ácidos Grasos Libres	0.0346	0.0429	0.0511
Índice de Peróxido	0.0564	0.0625	0.0732

Fuente: elaboración propia

Utilización de modelo matemático que relaciona la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción, Ecuación de Arrhenius

El modelo de Arrhenius describe la relación de la constante de velocidad de reacción con la temperatura, esta dependencia se muestra en la ecuación:

$$k = Ae^{\left(\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Al aplicar logaritmos a ambos lados de la ecuación se obtiene la ecuación de una línea recta con pendiente Ea/R , y se despeja el término Ea para obtener el valor de la energía de activación:

$$\ln K = \ln A - \left(Ea * \frac{1}{RT}\right)$$

Donde:

k : Constante de velocidad de reacción

A: Factor de frecuencia

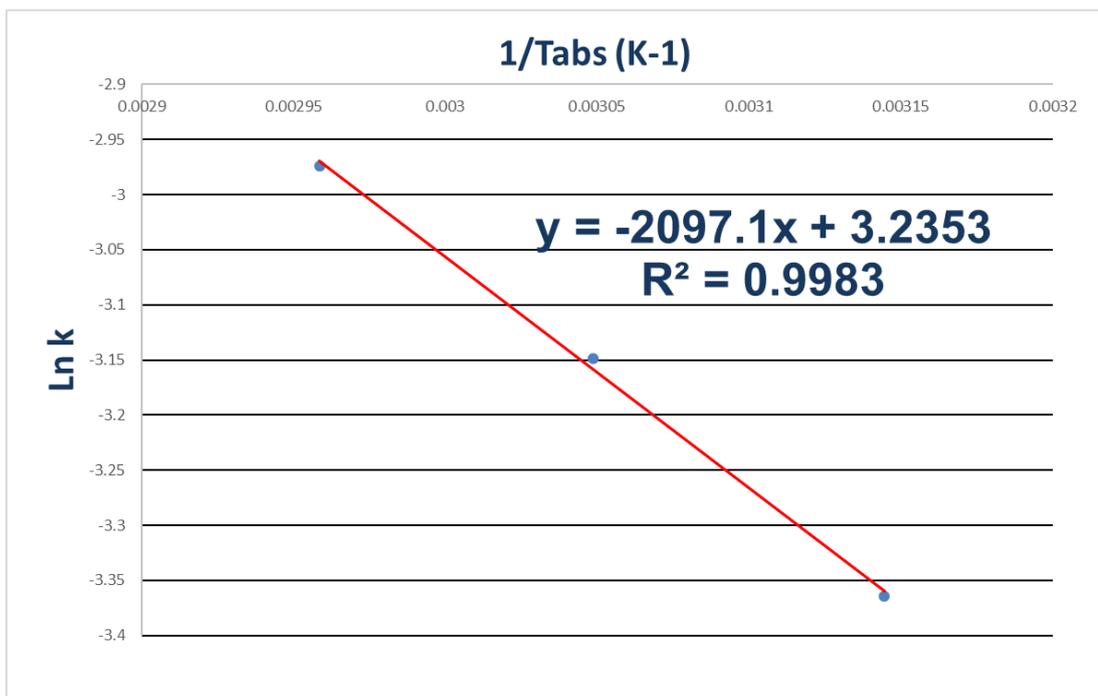
Ea: Energía de activación

R: Constante de los gases ideales

T: Temperatura absoluta (K)

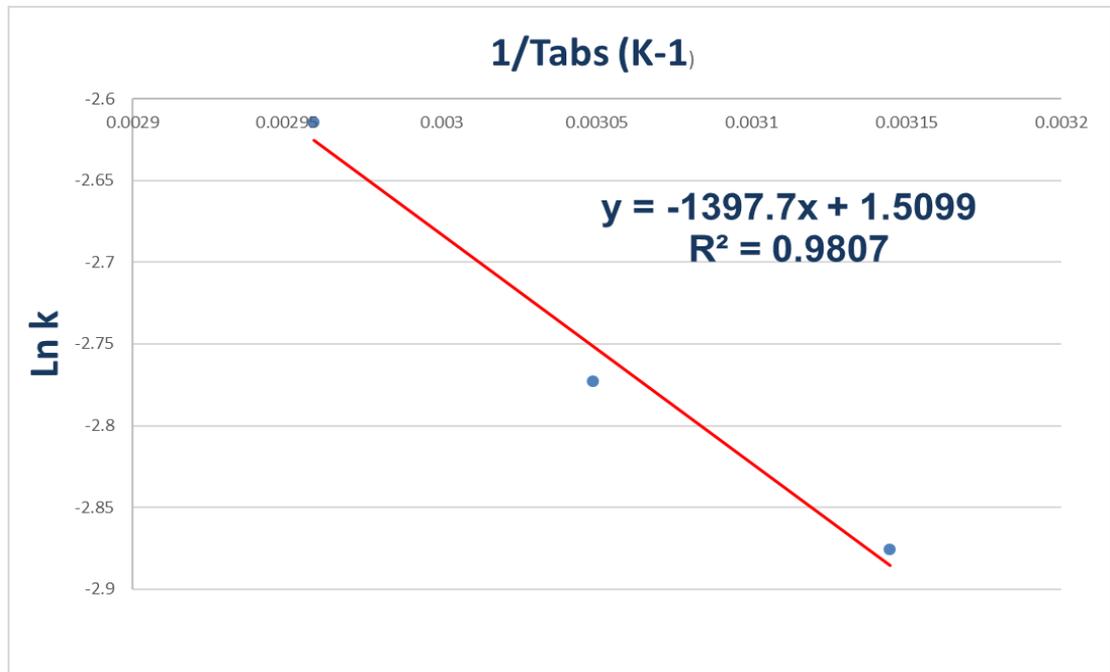
El estudio predictivo de la energía de activación, siguiendo el modelo matemático propuesto por LABUZA Y RIBOH (10) y utilizando los datos de % de ácidos grasos libres e índice de peróxido evaluada a temperaturas de almacenamiento de 45°C, 55°C y 65°C durante 30 días, permitió obtener una cinética de reacción de orden cero. En la Figura 8 se presenta la determinación de la energía de activación para el % de Ácidos Grasos Libres, el valor obtenido fue de **17.44** KJ/mol

FIGURA 8
DETERMINACIÓN DEL VALOR DE Ea PARA EL % DE ACIDOS
GRASOS LIBRES EN EL PRODUCTO ANALIZADO



En la Figura 9 se presenta la determinación de la energía de activación para el Índice de peróxido, el valor obtenido fue de **11.62** KJ/mol

FIGURA 9
DETERMINACIÓN DEL VALOR DE Ea PARA EL INDICE DE
PERÓXIDO EN EL PRODUCTO ANALIZADO



Empleando la ecuación de LABUZA y RIBOH, señalado en la ecuación n° 5 del presente trabajo, conocido el % de ácidos grasos libre y el índice de peróxido inicial del producto (0.95% expresado en ácido oleico y 4.91 meq. O_2 /Kg de grasa) y el valor final límite (5.03% expresado en ácido oleico y 15 meq. O_2 /Kg de grasa), se calculó la vida útil del alimento a las temperaturas evaluadas. Se aprecia en el Cuadro 19 y 20 que, a medida que la temperatura de almacenamiento es mayor, el producto tiene un tiempo de vida más corto, por ejemplo, a temperatura de 65°C el producto duraría 80 días, mientras que a temperaturas entre 45 y 55°C tendría una vida útil de 118 y 95 días.

CUADRO 19
PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL ACEITE VIRGEN DE
AGUAJE EN FUNCIÓN DEL % DE ACIDOS GRASOS LIBRES A
VARIAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

T (°C)	<i>k</i>	DIAS
18	0.0188	217
45	0.0346	118
55	0.0429	95
65	0.0511	80

Fuente: elaboración propia

CUADRO 20
PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL ACEITE VIRGEN DE
AGUAJE EN FUNCIÓN DEL INDICE DE PERÓXIDO VARIAS
TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

T (°C)	<i>K</i>	DÍAS
18	0.0371	272
45	0.0564	179
55	0.0625	161
65	0.0732	138

Fuente: elaboración propia

5.3 ANALISIS ESTADISTICO

Según el anexo IV y V, se puede afirmar que a un nivel de significancia del 5% existió diferencias significativas entre las tres temperaturas de trabajo al evaluar los dos factores de calidad medidos (% de ácidos grasos libres e índice de peróxido) debido a que el valor de P (0.000) es menor al nivel de significación de 0.005.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo al Cuadro N° 13, los parámetros fisicoquímicos evaluados son conformes de acuerdo a lo establecido en el cuadro 7 y 8 del presente documento, asimismo, se encuentra dentro de los límites establecidos por el Codex Stan 19 – 1981, enmienda:2009, 2013 y 2015, que establece el índice de acidez para grasas y aceites vírgenes es no más de 10 mg de KOH / g de grasa o aceite, y para grasas y aceites no vírgenes es no más de 0.6 mg de KOH / g de grasa o aceite y el índice de peróxido para aceites vírgenes y grasas y aceites prensados en frío hasta 15 miliequivalentes de oxígeno activo/kg aceite y otras grasas y aceites hasta 10 miliequivalentes de oxígeno activo/kg aceite.

Según Bailey (1984) los mejores aceites no contienen más que 0.5-1.5% de acidez, asimismo, existe una relación directa entre acidez y calidad, a juzgar por el olor y sabor, de manera que el aceite con un contenido en ácidos grasos libres (AGL) mayor de 3% rara vez tiene buen sabor, en concordancia con lo señalado por Kirk (1996), el mismo que señala que la acidez de la mayoría de los aceites comienza a hacerse notable al paladar cuando los ácidos grasos libres calculados como ácido oleico constituyen aproximadamente del 0.5 al 1.5%.

Según Lawson (1999) menciona que los aceites frescos a menudo tienen valores de peróxidos muy inferiores a los 10 mEq/Kg. En general, el sabor a rancio comienza a ser notable cuando el valor del peróxido es de 20 a 40 mEq/Kg. Sin embargo, al interpretar estas cifras es necesario tomar en cuenta de que aceite o grasa se trata, en concordancia con lo señalado por Madrid (1997) quien también indica como característica mínima de calidad de los aceites de semillas refinados un índice de peróxidos menor o igual a 10 expresado como meq. de O₂ activo/Kg de grasa.

Cabe precisar que los límites permitidos para los factores de calidad del aceite de aguaje no han sido determinados por los organismos internacionales y nacionales de estandarización por lo que se ha tomado como referencia los parámetros del aceite de palma.

Del cuadro 14 se precisa que el ácido Cis Oleico (Omega 9), es el ácido graso de mayor distribución en el fruto, Bailey (1969), señala que es el principal componente de la mayor parte de los aceites vegetales líquidos alcanzando el 20 % o mas de los ácidos grasos.

En cuanto a la relación entre la cantidad de ácidos grasos monoinsaturados, poliinsaturados y saturados, se precisa que el primero representa el 76%, dado en su mayoría por el Cis Ácido Oleico (75.86%), los poliinsaturados representan un 3.21%, de los cuales el ácido linolénico representa el 1.77%, y finalmente los saturados representados en su mayoría por el ácido palmítico (17.81%), representan un 20.60%, por lo tanto, es un producto beneficioso para la salud .

Se evaluaron 40 muestras de 0 a 30 días a las temperaturas de 45 °C, 55°C y 65 °C para el parámetro de calidad % de ácidos grasos libres para los tiempos de 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días como se puede observar en el cuadro 5.3 y figura 5.6, en términos generales la calidad del aceite disminuye al aumentar la temperatura con el transcurso del tiempo.

El tiempo de evaluación del aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) fue de 30 días en el cual los valores experimentales al final del tiempo de estudio no superaron los límites establecidos por el Codex Alimentarius (2.01 %, expresados como ácido oleico) para grasas y aceites vírgenes, por lo que podemos decir que el aceite semirrefinado de aguaje es estable con respecto a este factor de calidad.

Debido a que no existen límites establecidos por organismos internacionales y nacionales para el aceite semirrefinado de aguaje se tomó como referencia los límites para el aceite de palma dado que representa una semejanza significativa por la composición de ácidos grasos.

Saguy y Karel (1980), señalan que las pruebas aceleradas para predecir la estabilidad de los alimentos pueden ser realizados mediante los métodos siguientes: temperaturas elevadas, altas presiones de oxígeno, altos contenidos de humedad por lo que para la muestra en estudio el factor que más influyó en el deterioro del aceite fue la temperatura.

Según el cuadro 15 y la figura 6 se observa que existe una relación directa entre el incremento de las constantes de velocidad de reacción (k) al aumentar la temperatura de almacenamiento el factor de calidad en estudio (% de ácidos grasos libres) de las muestras almacenadas se incrementó más rápidamente a una temperatura de 65°C que las temperaturas de 55°C y 45°C luego de 30 días de estudio se evidenció que el % AGL llegó a 1.26, 1.21 y 1.16 respectivamente por lo que se puede inferir que la velocidad de oxidación aumenta con la temperatura, en concordancia con lo citado por Choe y Lee (2006) quienes señalan que la autooxidación se desarrolla lentamente a baja temperatura y la velocidad se incrementa cuando la temperatura se incrementa.

Las condiciones de almacenamiento a las que fueron sometidas el aceite semirrefinado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) fueron las siguientes: humedad relativa de 50 %, envase de vidrio color ámbar por 33 ml c/u a un espacio de cabeza de 10%, temperaturas de 45°C, 55°C y 65°C almacenados en oscuridad.

El % de ácidos grasos libres del aceite semirrefinado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) se debe principalmente a las condiciones de almacenamiento en un rango de temperaturas y un tiempo determinado. Kiritsakis (1991) menciona que los principales factores que afectan la hidrólisis son la temperatura, humedad, enzimas y varios factores siendo la temperatura óptima para la acción de la lipasa a 45°C.

Por el contenido de ácidos grasos, aproximadamente 76% monoinsaturados y poliinsaturados un 3.26 %, lo convierte en un aceite con alto contenido de ácidos grasos insaturados siendo propenso a sufrir un incremento de acidez con mayor rapidez; Primo, (1997) y Fennema (2000), señalan que los aceites con predominio de ácidos insaturados se enrancian con mayor rapidez, produciendo olores y sabores desagradables, debido a sus enlaces ester susceptibles a la hidrólisis química y enzimática.

El porcentaje de acidez si bien no es el único criterio para juzgar la calidad de aceite, guarda una estrecha correlación con la calidad.

En el cuadro 16 y figura 7 se muestran los valores obtenidos experimentalmente para el factor de calidad analizado (índice de peróxido), al aceite semirrefinado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), luego de ser almacenado a un tiempo determinado y a las temperaturas de almacenamiento de 45°C, 55°C y 65°C.

Se definió un tiempo de estudio de 30 días para el análisis del índice de peróxido para una correcta linealización debido a que a mayores tiempos y temperaturas elevadas el índice de peróxido tiende a decrecer esto se debe a la descomposición de los peróxidos en productos secundarios a la oxidación. Badui (1999), señala que los peróxidos alcanzan una concentración máxima para luego disminuir

debido a su descomposición, es decir al estudiar una grasa demasiado oxidada es probable que este índice sea bajo a pesar de que el olor sea característico a reacciones muy avanzadas.

Los valores reportados en el cuadro 16 de acuerdo a los tratamientos realizados de temperaturas analizadas de 45°C, 55°C y 65°C se encuentran por debajo de los límites máximos establecidos por el Codex alimentarius para aceites prensados en frío y vírgenes (≤ 15 meq O_2 /Kg de aceite), siendo el valor más alto reportado a temperatura de 65°C de 5.35, por lo que el aceite se mantiene estable para el factor de calidad evaluado.

Aunque el espacio de cabeza se mantuvo constante en todas las muestras analizadas (10 % del volumen total (33 ml)), el incremento de la temperatura incrementa el efecto de la concentración del oxígeno, el oxígeno con el aceite puede reaccionar más eficientemente cuando la muestra es pequeña (Choe y Mind, 2006).

Se advierte que, a una temperatura de 65°C, la velocidad de degradación de los hidroperóxidos en el aceite fue mucho más alto que la formación, a esta temperatura el desarrollo de los hidroperóxidos es inmediatamente descompuesta en productos secundarios de la oxidación.

El aceite virgen de aguaje, es una variedad de aceite de palma por poseer similares características en la composición de sus ácidos grasos insaturados (80% aprox.), es más estable con referencia a este factor de calidad (índice de peróxido) ya que presenta una composición ácida con insaturación demasiado elevada, mayoritariamente oleico, que es muchísimo menos reactivo que los ácidos grasos poliinsaturados y contiene numerosas sustancias

antioxidantes (tocoferoles, polifenoles, etc.) que le permiten mantener una buena estabilidad (Tous y Romero, 1993).

De acuerdo al Cuadro N° 17, se determinó la orden de reacción en función del Coeficiente de determinación (r^2) al relacionar el valor crítico (A) vs tiempo de almacenamiento (orden cero) y $\ln A$ vs tiempo de almacenamiento (orden uno). Se escogió el orden de reacción $n=0$, toda vez que, este correspondió al mayor r^2 .

De las figuras 8 y 9, se obtuvieron los valores de coeficiente de determinación pendiente (k), para los parámetros de calidad de % AGL e Índice de Peróxido. Estos se obtuvieron al modelar los datos a una ecuación lineal de orden cero ($n=0$), donde la abscisa fue el tiempo y la ordenada el % AGL (Porcentaje de ácidos grasos libres) e Índice de Peróxido, esto concuerda con lo establecido por Gómez Alonso *et al* (2004), que señala en su estudio que la formación de los productos primarios de la oxidación siguieron una cinética orden pseudo cero.

De las figuras 5.3 y 5.4, se utilizó la ecuación de Arrhenius para hallar la constante de velocidad k a 18 °C tanto para el % AGL y el Índice de Peróxido, y así determinar el tiempo de vida útil del aceite virgen de aguaje, obteniendo un tiempo de vida útil de 217 días para el %AGL y 272 días para el Índice de Peróxido.

VII. CONCLUSIONES

- A través de la metodología de pruebas aceleradas se pueden obtener resultados en un corto periodo y confiables para productos de una larga vida de duración.
- De acuerdo al desarrollo de la metodología de pruebas aceleradas y utilizando la ecuación de Arrhenius se obtuvieron los valores de las constantes de velocidad a las condiciones ambientales (18°C) para el aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), fueron 0.0188 días⁻¹ para el % de ácidos grasos libres, y para el Índice de Peróxido de 0.0371 días⁻¹.
- El tiempo de vida del aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), es estable a temperatura de 18°C dado que contaba con los antioxidantes naturales.
- Para las muestras de aceite virgen de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*), se estableció un tiempo máximo de almacenamiento a través de la metodología de las pruebas aceleradas a una temperatura de almacenamiento de 18° C de 217 días, para el factor de calidad de % de ácidos grasos libres, y 272 para el factor de calidad índice de peróxido.
- Por lo tanto con los resultados obtenidos se puede afirmar que el tiempo de vida útil del aceite de aguaje virgen (*Mauritia flexuosa L.f.*), es de 217 días.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere determinar a través de la metodología de pruebas aceleradas la vida útil del aceite de aguaje refinado.
- Se debería evaluar el efecto de otros factores (luz, % de humedad, tipo de envase, materias primas, etc.) que influyan en el deterioro del aceite.
- Se debería realizar una evaluación sensorial para determinar si existen o no, diferencias significativas una vez transcurrida su vida útil.
- Se debería promover la agricultura intensiva y el mejoramiento genético de estos frutos para el mejoramiento de su productividad.

IX. REFERENCIAS

1. ALVARADO, J. 1991. **Principios de ingeniería aplicada a los alimentos**. Ecuador. Secretaria General de la OEA. Programa Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Universidad Técnica de Ambato.
2. APARICIO, R y HARWOOD, J. 2003. **Manual de aceite de oliva**. Madrid – España. 1ra edición. AMV ediciones. Mundi Prensa.
3. BADUI, S. 1999. **Química de los alimentos**. México. Editorial Alambra.
4. BAILEY, A.E. 1984. **Aceites y grasas industriales**. España. Edición Barcelona.
5. Baldizón, C. G., & Córdoba, M. E. M. **Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas**. *Journal of Tropical Engineering*, 18(1-2). 2008.
6. BALICK, M. J. 1981. Palmas neotropicales “**Nuevas fuentes de aceites comestibles**”. Interciencia.
7. BARRIGA, R. 1994. **Plantas útiles de la Amazonia Peruana**. Características, usos y posibilidades. Lima. Perú. Editorial CONCYTEC.
8. BELITZ.W. 1992. **Química de los alimentos**. España. Editorial Acribia.
9. BERNARDINI E. 1981. **Tecnología de aceites y grasas**. Madrid. España. Editorial Alambra. S.A.
10. BOHORQUEZ, J. 1978. “**Monografía sobre Mauritia flexuosa**” Simposio Internacional sobre Plantas de Interés Económico de la Flora Amazónica.
11. CALZADA, B. 1980. “**143 Frutales Nativos**”; Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú.
12. CASANAVE, M. 1980. **Extracción, Caracterización y Refinación de aceite de pulpa de Palta**. Tesis, Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

13. CHAU, A. 2003. **Utilización del Método escalonado y la distribución de Weibull en la determinación de la vida en anaquel del Chorizo parrillero.** Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en la especialidad de Tecnología de alimentos. Lima – Perú.
14. CHEFTEL J y CHEFTEL, 1976. **Introducción a la Bioquímica y tecnología de los alimentos.** Vol. I. España. Editorial Acribia. Zaragoza.
15. DESROSIER, N. 1997.**Elementos de Tecnología de Alimentos.** México. Compañía Editorial Continental, S.A.
16. DETHMERS, E. 1979. **“Utilizing sensory evaluation to determine products shelf life”.** *Food Technology.* 33 (9):40.
17. FENNEMA, O. 2000. **Introducción a la ciencia de los alimentos.** España.Editorial Reverté.
18. FERNÁNDEZ – ESPLÁ, M. y O’NEILL, E. 1993. **“Lipid oxidation in Rabbit meat under different storage conditions”.** *Journal of Food Science.*58 (6): 1262.
19. GIRALDO, GI. 1999. **Métodos de estudio de vida en anaquel de los alimentos (en línea).** Manizales, Colombia. 106 p. Consultado 12 dic. 2017. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/51276/1/metodosdeestudiodevidadeanaqueldelosalimentos.pdf>
20. GÓMEZ - ALONSO, S. 2004, *et al.* **Oxidation kinetics in olive oil triacylglycerol’s under accelerated shelf-life testing (25–75° C).** *European journal of lipid science and technology,* 106(6), 369-375.
21. GRACIAN, 1970. **Criterios de Calidad en los aceites de oliva vírgenes.** *Revista francesa Oleagineux, 25 année, N° 1.*
22. HILL, C y GRIEGER – BLOCK, R. 1980.**Kinetic data generation, interpretation and use.** *Food Technology.* 34(2):56.

23. HUFFMAN, D. *et. al.* 1995. **“Storage stability of vacuum packaged frozen pork sausage containing soy protein concentrate, carrageenan or antioxidants”**. *Journal of Science*. 60 (2):257.
24. IFT. **Shelf life of food**. 1974. *Journal of food Science*. 39:861.
25. IIAP-M.C.E.S.P.A. 2000. **La explotación del aguaje propuesta para una iniciativa**. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)*. 23 p. Perú.
26. JAEGER S. 2006. **Non – sensory factors in sensory science research**. *Food Quality and Preference*, 17, 132 – 144,
27. KAHN, F. y MOUSSA, F. 1994. **Las palmeras del Perú, colecciones, patrones de distribución geográfica, ecología, estatutos de conservación, nombres vernáculos, utilizaciones**. *Instituto Francés de estudios andinos*. Lima. Perú. 180p.
28. KIRSCHENBAUER H. G. 1964. **Grasas y Aceites química y tecnología**. México. Compañía Editorial Continental S.A.
29. KIRITSAKIS, A. 1991. **El Aceite de Oliva**. España. Ediciones A. Madrid Vicente.
30. KIRK R. S. 1996. **Análisis Químicos de los alimentos de Pearson**. México. Compañía Editorial Continental S.A.
31. KWOLEK, W. Y BOOKWALTER, G. 1971. **“Predicting stability from time – temperature data”**. *Food Technology*. 25 (10):51.
32. LABUZA y SCHMIDL, M. 1985. **Accelerated shelf – life testing of food**. *Food Technology*. 40 (5):70.
33. LABUZA, T y RAGNARSSON, 1985. **J. Kinetic history effect on lipid oxidation of methyl linoleate in a model system**. *Journal of Food Science* 44:1162.

34. LABUZA, T. y RIBOH, D. 1982.**Theory and application of Arrhenius kinetics to prediction of nutrient losses in food.** *Food technology.* 36 (10):66.
35. LAWSON, H. 1999.**Aceites y grasas alimentarios, tecnología, utilización y nutrición.** España. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza.
36. LENZ, M Y LUND, D. 1980.**Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components.** *Food Technology.* 34 (2):51.
37. LOPEZ, 2013 **Estimación de la Vida Útil de la Carne**, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.Mexico.
38. MADRID. 1997. **Características de Calidad de los Aceites y Grasas Refinados.** España. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
39. MATTEA, M. 1991. **Fundamentos sobre el Prensado de Semillas Oleaginosas.** Argentina. A&G. Editorial Amalevi. Mendoza.
40. MEHLENBACHER, 1979.**Análisis de Grasas y Aceites.** España. 1^{ra} edición en español editorial URMO S.A.
41. MEJÍA, M. 1997. **Extracción y refinación de aceite de sacha inchi.** Tesis industrias alimentarias. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina.
42. MEJÍA, K.C. 2000.**Palmerales de la Reserva Nacional Pacaya-Samiria, Informe final.** *Instituto de investigaciones de la Amazonía peruana,* Perú.
43. NORIEGA, M. V. 1980. **Colección del fruto de Aguaje y su transformación en polvo.** Tesis. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
44. NÚÑEZ, C. 1976.**Estudio Técnico de la Extracción y Refinación del aceite de semilla de Girasol**

- (Helianthusannuus).** Tesis Ingeniero en industrias Alimentarias. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
45. ORDOÑEZ P., 1998. **Tecnología de los Alimentos Vol. I, Componentes de los Alimentos y Procesos.** Editorial Madrid.
 46. PEREYRA M., *et. al.* 2009. **Autooxidación de Aceites Vegetales Comerciales.** Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Buenos Aires Argentina.
 47. PEARSON, 1996. **Composición y análisis de los alimentos de Pearson 2^{da} Edición.** España. Compañía editorial Continental S.A. Zaragoza.
 48. PRIMO, E. 1998. **Química de los Alimentos.** España. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza.
 49. ROJAS R. R. 2000. **Estado del conocimiento sobre el aguaje.** Iquitos. Perú.
 50. ROJAS R., *et al.* 2001. **Industrialización primaria del aguaje *Mauritia flexuosa* L. f. en Iquitos (Perú).**
 51. ROESSL, L.J.C. 1983. **El aguaje como ejemplo en la determinación de la utilización industrial de una especie vegetal.**
 52. RONDÓN, E., & ORTEGA, F. 2004. **Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10.** Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1).
 53. RUIZ MURRIETA, J. 1993. **Alimentos del Bosque Amazónico: Una alternativa para la protección de los bosques tropicales** (No. 504.52 RUI). UNESCO/ORCYT, Montevideo.
 54. SANCHEZ, E. 2003. **Control de la calidad del aceite de oliva extra virgen por espectrofotometría ultravioleta.** Tesis. Lima. UNMSM.

55. SAGUY, I. y KAREL, M. 1980. **“Modeling of quality deterioration during food processing and storage”**. *Food Technology*. 34 (2):78.
56. TAN C. y CHE Y., 2001. **Application of Arrhenius Kinetics to Evaluate Oxidative Stability in Vegetable Oils by Isothermal Differential Scanning Calorimetric**. *J.A.O.C.S* Vol. 78 n° 11, pag 1133 – 1138.
57. TOUS, J Y ROMERO, A. 1993. **Variedades del Olivo**. Barcelona- España. Primera edición. Editorial Aedos S.A.
58. TREVEJO E. 2003. **“Avances de la Investigación en Frutos Oleaginosos de la Amazonia Peruana”** Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
59. VAVPOT, V. 1999. **El Prensado Mecánico**. Argentina. A&G. Editorial Amalevi. Mendoza.
60. VERGARA, R. 2006. **Determinación del tiempo de vida en anaquel del aceite virgen de la semilla de ajonjolí (Sesamunindicum L.), a temperatura ambiente y mediante pruebas aceleradas**. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias Alimentarias. Lima- Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
61. VILLACHICA, H, *et al.* 1996. **Frutales y Hortalizas promisorias de la Amazonia**. Lima-Perú. Tratado de Cooperación Amazónica.
62. ZILLER, S. 1996. **Grasas y aceites alimentarios**. España. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
63. <http://www.iiap.org.pe/publicaciones/folias/folia12/articulo/FOLIA AMAZÓNICA VOL. 19> (1-2) artículo web. Consultada el 28 de enero del 2016.

ANEXO I

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: VIDA UTIL DEL ACEITE DE AGUAJE MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS (Mauritia flexuosa L.f.)

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	JUSTIFICACION	HIPÓTESIS GENERAL	V. INDEPENDIENTE	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo se determinará la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.)?	Determinar la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.)	De acuerdo a lo establecido en el artículo 5° de la Ley de Inocuidad de los Alimentos aprobado mediante Decreto Legislativo 1062, la misma que señala los proveedores deben suministrar alimentos sanos, siendo responsables directos de la inocuidad de los alimentos, estando obligados a: garantizar y responder en caso de alimentos elaborados industrialmente envasados por el contenido y vida útil del producto indicado en el envase.	Mediante la metodología de pruebas aceleradas se determina la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa).	Temperatura de almacenamiento (45° C, 55° C y 65°)	Temperatura (°C)	Método del control de la temperatura utilizando estufa
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICO		HIPÓTESIS ESPECIFICAS	V.DEPENDIENTE		
1.- ¿Qué metodología se utilizará para determinar la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.) 2.- ¿Qué variables de control de calidad me determinan de una manera rápida y precisa la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.)?	1.- Determinar la metodología que permita encontrar el tiempo de vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.), en el menor tiempo posible. 2.- Determinar la vida útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.), utilizando como factores de calidad el % de ácidos grasos libres y el índice de peróxido.	Asimismo, en el artículo 18 ° de la Norma Sanitaria para la aplicación del sistema HACCP en la fabricación de alimentos y bebidas, aprobado por RM N° 449-2006/MINSA, señala que: En la descripción del producto se incluirá por lo menos lo siguiente: "(...) Vida útil del producto (fecha de vencimiento o caducidad, fecha preferente de consumo". Este trabajo nos permitirá conocer la vida útil del producto aceite de aguaje y beneficiará a la empresa que aporta el aceite para su estudio, quien podrá ingresar a mercados más competitivos aumentando los ingresos y generando mayor empleo a las comunidades de donde proviene la materia prima	1.- A través de las pruebas aceleradas bajo condiciones de abuso en temperaturas (45°, 55° y 65°C) a un determinado tiempo nos permitieron evaluar el tiempo de vida útil del aceite de aguaje. 2.- El porcentaje de ácidos grasos libres y el índice de peróxido como factores de calidad nos permitieron evaluar la vida útil del aceite de aguaje	- Vida útil en función a la acidez libre - Vida útil en función del índice de peróxido	Índice de Acidez Parámetro de índice de peróxido	Método de la toma de índice de acidez. Método de índice de peróxido

ANEXO II
CORRELACIÓN DE LA REGRESION LINEAL PARA ORDEN DE REACCION n = 0 y n= 1, PARA LA ACIDEZ LIBRE A LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE ESTUDIO

ACIDEZ					
45°C		55°C		65°C	
n=0	n=1	n=0	n=1	n=0	n=1
-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05
-0.07	-0.07	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10
-0.10	-0.10	-0.13	-0.13	-0.15	-0.15
-0.13	-0.13	-0.17	-0.16	-0.20	-0.19
-0.17	-0.16	-0.21	-0.20	-0.25	-0.23
-0.21	-0.20	-0.26	-0.24	-0.31	-0.28
R2=0.9967	R2=0.9975	R2=0.9982	R2=0.9972	R2=0.999	R2=0.9996

ANEXO III
CORRELACIÓN DE LA REGRESION LINEAL PARA ORDEN DE REACCION n = 0 y n= 1, PARA EL INDICE DE PERÓXIDO A LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE ESTUDIO

PEROXIDO					
45°C		55°C		65°C	
n=0	n=1	n=0	n=1	n=0	n=1
-0.06	-0.01	-0.08	-0.02	-0.10	-0.02
-0.14	-0.03	-0.17	-0.03	-0.19	-0.04
-0.19	-0.04	-0.21	-0.04	-0.26	-0.05
-0.23	-0.05	-0.26	-0.05	-0.34	-0.07
-0.31	-0.06	-0.34	-0.07	-0.39	-0.08
-0.33	-0.07	-0.38	-0.07	-0.44	-0.09
R2=0.9804	R2=0.9793	R2=0.9873	R2=0.9864	R2=0.9876	R2=0.9856

ANEXO IV
ANÁLISIS DE VARIANZA Y LA COMPARACIÓN DE LOS
RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA EL % DE ÁCIDOS GRASOS
LIBRES

Modelo lineal general: %A.G.L. vs. TIEMPO, TEMPERATURA

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TIEMPO	Fijo	7	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30
TEMPERATURA	Fijo	3	45, 55, 65

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TIEMPO	6	0.154429	0.025738	80.67	0.000
TEMPERATURA	2	0.008771	0.004386	13.75	0.001
Error	12	0.003829	0.000319		
Total	20	0.167029			

ANEXO V
ANÁLISIS DE VARIANZA Y LA COMPARACIÓN DE LOS
RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA EL ÍNDICE DE PERÓXIDO
Modelo lineal general: INDICE DE PEROXIDO vs. ... PO, TEMPERATURA

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TIEMPO	Fijo	7	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30
TEMPERATURA	Fijo	3	45, 55, 65

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TIEMPO	6	0.348429	0.058071	136.26	0.000
TEMPERATURA	2	0.015352	0.007676	18.01	0.000
Error	12	0.005114	0.000426		
Total	20	0.368895			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0206444	98.61%	97.69%	95.75%