

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN QUIMIOMÉTRICA  
DE ACEITES VIRGENES COMERCIALIZADOS EN  
SUPERMERCADOS DE LIMA METROPOLITANA”**

**Presentada por:**

**ADRIANA MARGARITA VIÑAS OSPINO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**LIMA- PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE  
ACEITES VIRGENES COMERCIALIZADOS EN SUPERMERCADOS  
DE LIMA METROPOLITANA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**ADRIANA MARGARITA VIÑAS OSPINO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente**

**jurado:**

Dr. Luis Condezo Hoyos

**PRESIDENTE**

Mg.Sc. Beatriz Hatta Sakoda

**ASESOR**

Mg.Sc. Miguel Ángel Aguilar

**CO-ASESOR**

Ph.D Patricia GlorioPaulet

**MIEMBRO**

Mg.Sc. Gloria Pascual Chagman

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres: Dora Ospino , David Viñas y tíos: Isaac Ospino, Javier Muñiz por el apoyo incondicional durante estos años.*

*“Nunca pares, nunca te conformes, hasta que lo bueno sea mejor y lo mejor excelente”*

*Gym Rizo*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero expresar mi gratitud a todas las personas e instituciones que, de una forma u otra, me han ayudado a lo largo de este periodo de formación y en la realización de este trabajo:*

*A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) y al CONCYTEC por el financiamiento a través del proyecto “Plataforma nano-biotecnológica multidisciplinaria para contener el impacto de síndromes febriles en zonas de alto riesgo en el Perú” (contrato N° 164-2016-FONDECYT)*

*Al Instituto de investigación nutricional (IIN) dónde descubrí mi interés por la ciencia y me abrió las puertas para realizar este proyecto.*

*Al Instituto de la Grasa (IG) y la Universidad de Sevilla (US) que permitieron realizar procedimientos experimentales en sus instalaciones con el apoyo de la Dra. María del Carmen Perez Camino.*

*Finalmente, quiero agradecer a mis mentores Fernando Ramos y Juana del Valle por su motivación y confianza durante el desarrollo de este proyecto. Y a mi asesora Beatriz Hatta por todo el apoyo brindado.*

## ÍNDICE GENERAL

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                          | 1           |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....               | 4           |
| 2.1 ACEITES .....                                     | 4           |
| 2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES .....      | 4           |
| 2.2.1 ACEITE DE OLIVA.....                            | 5           |
| 2.2.2 ACEITES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS.....            | 6           |
| 2.3 COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES .....                  | 7           |
| 2.3.1 ACEITE DE OLIVA.....                            | 7           |
| 2.3.2 ACEITE DE SACHA INCHI.....                      | 9           |
| 2.3.3 ACEITE DE AJONJOLÍ.....                         | 11          |
| 2.4 ÍNDICES NUTRICIONALES .....                       | 12          |
| 2.4.1 ÍNDICE DE ATEROGENICIDAD.....                   | 12          |
| 2.4.3 ÍNDICE DE TROMBOGENICIDAD.....                  | 13          |
| 2.4.4 EL ÍNDICE HIPO/HIPERCOLESTEROLÉMICO (h/H) ..... | 13          |
| 2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD.....                        | 14          |
| 2.5.1 ACIDEZ LIBRE.....                               | 14          |
| 2.5.2 ÍNDICE DE PERÓXIDOS.....                        | 14          |
| 2.5.3 DIENOS Y TRIENOS CONJUGADOS.....                | 15          |
| 2.5.4 ÍNDICE DE YODO.....                             | 15          |
| 2.6 COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LOS ACEITES .....        | 16          |
| 2.6.1 ÁCIDOS GRASOS.....                              | 16          |
| 2.6.2 TOCOFEROLES.....                                | 17          |
| 2.6.3 FITOESTEROLES.....                              | 18          |
| 2.6.4 CAROTENOIDES.....                               | 19          |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.6.5 CLOROFILAS.....                                   | 20        |
| 2.6.6 COMPUESTOS FENÓLICOS.....                         | 21        |
| 2.8 ALTERACIONES Y CONSERVACIÓN.....                    | 23        |
| 2.8.1 MECANISMOS DE OXIDACIÓN DE GRASAS Y ACEITES ..... | 23        |
| 2.9 QUIMIOMETRÍA.....                                   | 25        |
| 2.9.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA):.....   | 27        |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                   | <b>29</b> |
| 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN .....                            | 29        |
| 3.2 MATERIA PRIMA .....                                 | 29        |
| 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....                     | 31        |
| 3.3.1 METODOLOGÍA DE MUESTREO.....                      | 31        |
| 3.4 MATERIALES, REACTIVO Y EQUIPOS.....                 | 31        |
| 3.4.1 MATERIALES.....                                   | 31        |
| 3.4.2 REACTIVOS .....                                   | 32        |
| 3.4.3 EQUIPOS .....                                     | 32        |
| 3.5 MÉTODOS .....                                       | 33        |
| 3.5.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS .....                         | 33        |
| 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....                           | 41        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                  | <b>42</b> |
| 4.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD .....             | 42        |
| 4.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS CROMÁTICOS .....             | 47        |
| 4.3 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO .....                       | 52        |
| 4.3.1 DETERMINACIÓN DE PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS .....    | 52        |
| 4.3.2 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE TOCOFEROLES .....     | 57        |
| 4.4 COMPUESTOS FENÓLICOS .....                          | 61        |
| 4.5 ÍNDICES NUTRICIONALES .....                         | 64        |
| 4.6 ANÁLISIS QUIMIOMÉTRICO.....                         | 69        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                             | <b>74</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>              | <b>76</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>77</b> |
| <b>VII. ANEXOS .....</b>                     | <b>91</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1  | Composición química de ácidos grasos del aceite olive virgen extra....  | 9  |
| Cuadro 2  | Composición química de ácidos grasos del aceite de sachá inchi virgen extra.....                                | 10 |
| Cuadro 3  | Composición química de ácidos grasos del aceite de ajonjolí virgen extra.....                                   | 12 |
| Cuadro 4  | Características de las muestras de aceites comerciales peruanos.....  | 29 |
| Cuadro 5  | Peso molecular y tiempo de retención de los ácidos grasos.....  | 37 |
| Cuadro 6  | Parámetros de calidad en aceite de oliva virgen extra comercial.....  | 44 |
| Cuadro 7  | Parámetros de calidad en aceite de sachá inchi virgen extra comercial.  | 45 |
| Cuadro 8  | Parámetros de calidad en aceite de ajonjolí virgen extra comercial.....   | 46 |
| Cuadro 9  | Diferencias de los parámetros de calidad según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi ajonjolí.....    | 47 |
| Cuadro 10 | Parámetros cromáticos en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial.....                                | 49 |
| Cuadro 11 | Parámetros cromáticos en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra.....                                    | 50 |
| Cuadro 12 | Parámetros cromáticos en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra..  | 51 |
| Cuadro 13 | Diferencias en los parámetros cromáticos según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.....  | 52 |
| Cuadro 14 | Ácidos grasos en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial...  | 53 |
| Cuadro 15 | Ácidos grasos en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial.....                                  | 55 |
| Cuadro 16 | Ácidos grasos en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial.....                                     | 55 |
| Cuadro 17 | Diferencias en el perfil de ácidos grasos según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí..... | 56 |
| Cuadro 18 | Tocoferoles en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial.....  | 58 |
| Cuadro 19 | Tocoferoles en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial.....                                    | 59 |



|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Cuadro 20 | Tocoferoles en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial...   | 60 |
| Cuadro 21 | Diferencias en la composición de tocoferoles según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.....          | 60 |
| Cuadro 22 | Compuestos fenólicos totales de aceite de oliva virgen extra comercial.....   | 62 |
| Cuadro 23 | Compuestos fenólicos totales de aceite de sachá inchi virgen extra comercial.....   | 63 |
| Cuadro 24 | Compuestos fenólicos totales de aceite de ajonjolí virgen extra comercial.....  | 64 |
| Cuadro 25 | Diferencias en la composición de compuestos fenólicos según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí..... | 64 |
| Cuadro 26 | Índices nutricionales en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial.....  | 67 |
| Cuadro 27 | Índices nutricionales en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial.....                                      | 68 |
| Cuadro 28 | Índices nutricionales en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial.....   | 68 |
| Cuadro 29 | Diferencias en los índices nutricionales según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.....              | 69 |
| Cuadro 30 | Agrupamiento de las muestras de aceites de oliva según las variables estudiadas.....  | 72 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1 Propiedades funcionales de los compuestos fenólicos.....   | 22   |
| Figura 2 Análisis de componentes principales (PCA) de muestras de aceite virgen extra comercial de oliva, sachá inchi y ajonjolí..... | 70   |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| Anexo 1 Límites de mínimos aceptables de dienos y trienos conjugados para aceites..                | 91   |
| Anexo 2 Análisis estadístico de índice de acidez en las tres especies de aceite .....              | 91   |
| Anexo 3 Análisis estadístico de delta de $\Delta K$ en las tres especies de aceite.....            | 91   |
| Anexo 4 Análisis estadístico dienos en las tres especies de aceite.....                            | 92   |
| Anexo 5 Análisis estadístico de trienos en las tres especies de aceite.....                        | 92   |
| Anexo 6 Análisis estadístico de índice de acidez en las tres especies de aceite.....               | 92   |
| Anexo 7 Análisis estadístico de índice de yodo en las tres especies de aceite.....                 | 92   |
| Anexo 8 Análisis estadístico de clorofilas en las tres especies de aceite.....                     | 93   |
| Anexo 9 Análisis estadístico de carotenos en las tres especies de aceite.....                      | 93   |
| Anexo 10 Análisis estadístico de sumatoria de pigmentos en las tres especies de aceite.            | 93   |
| Anexo 11 Análisis estadístico del parámetro cromático “L” en las tres especies de<br>aceite.....   | 93   |
| Anexo 12 Análisis estadístico del parámetro cromático “a*” en las tres especies de<br>aceite.....  | 94   |
| Anexo 13 Análisis estadístico del parámetro cromático “b*” en las tres especies de<br>aceite.....  | 94   |
| Anexo 14 Análisis estadístico del parámetro cromático “cab” en las tres especies de<br>aceite..... | 94   |
| Anexo 15 Análisis estadístico del parámetro cromático “hab” en las tres especies de<br>aceite..... | 94   |
| Anexo 16 Análisis estadístico del “%MC 14:0” en las tres especies de aceite.....                   | 95   |
| Anexo 17 Análisis estadístico del “%MC 16:0” en las tres especies de aceite.....                   | 95   |
| Anexo 18 Análisis estadístico del “%MC 16:1” en las tres especies de aceite.....                   | 95   |
| Anexo 19 Análisis estadístico del “%MC 17:0” en las tres especies de aceite.....                   | 95   |
| Anexo 20 Análisis estadístico del “%MC 17:1” en las tres especies de aceite.....                   | 96   |
| Anexo 21 Análisis estadístico del “%MC 18:0” en las tres especies de aceite.....                   | 96   |
| Anexo 22 Análisis estadístico del “%MC 18:1” en las tres especies de aceite.....                   | 96   |
| Anexo 23 Análisis estadístico del “%MC 18:2” en las tres especies de aceite.....                   | 96   |
| Anexo 24 Análisis estadístico del “%MC 20:0” en las tres especies de aceite.....                   | 97   |
| Anexo 25 Análisis estadístico del “%MC 18:3” en las tres especies de aceite.....                   | 97   |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Anexo 26 | Análisis estadístico del “%MC 22:0” en las tres especies de aceite.....                          | 97  |
| Anexo 27 | Análisis estadístico del alfa tocoferol en las tres especies de aceite.....                      | 97  |
| Anexo 28 | Análisis estadístico del beta tocoferol en las tres especies de aceite.....                      | 98  |
| Anexo 29 | Análisis estadístico del Gamma tocoferol en las tres especies de aceite.....                     | 98  |
| Anexo 30 | Análisis estadístico del delta tocoferol en las tres especies de aceite.....                     | 98  |
| Anexo 31 | Análisis estadístico de tocoferol totales en las tres especies de aceite.....                    | 98  |
| Anexo 32 | Análisis estadístico d polifenoles totales en las tres especies de aceite.....                   | 99  |
| Anexo 33 | Análisis estadístico de los ácidos grasos saturados en las tres especies de<br>aceite.....       | 99  |
| Anexo 34 | Análisis estadístico de los ácidos grasos monoinsaturados en las tres especies<br>de aceite..... | 99  |
| Anexo 35 | Análisis estadístico de los ácidos grasos poliinsaturados en las tres especies<br>de aceite..... | 99  |
| Anexo 36 | Análisis estadístico del índice de aterogenicidad en las tres especies de aceite                 | 100 |
| Anexo 37 | Análisis estadístico del índice de trombogenicidad en las tres especies de<br>aceite.....        | 100 |
| Anexo 38 | Análisis estadístico del índice hipo/hipercolesterolémico en las tres especies<br>de aceite..... | 100 |
| Anexo 39 | Análisis estadístico de la relación omega-6/omega-3 en las tres especies de<br>aceite.....       | 101 |
| Anexo 40 | Curva de calibración para la determinación de polifenoles totales.....                           | 101 |
| Anexo 41 | Cromatograma del perfil de ácidos grasos muestra O10 (aceite de oliva).....                      | 102 |
| Anexo 42 | Cromatograma del perfil de ácidos de grasos de la muestra S23 (aceite de<br>sacha inchi).....    | 102 |
| Anexo 43 | Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la muestra A28 (aceite de<br>ajonjolí).....          | 103 |
| Anexo 44 | Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra O25 (aceite de oliva)...                    | 103 |
| Anexo 45 | Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra S22 (aceite de sacha<br>inchi).....         | 104 |
| Anexo 46 | Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra A26 (aceite de<br>ajonjolí).....            | 104 |

## RESUMEN

En la presente investigación se tuvo como objetivo determinar parámetros de calidad, parámetros cromáticos, composición química, índices nutricionales y clasificar quimiométricamente aceites virgen extra vegetales comercializados en supermercados de Lima Metropolitana. Se colectaron veintiocho muestras de aceites extra virgen de oliva, sachá inchi y ajonjolí en supermercados de Lima Metropolitana. Se realizaron mediciones espectrofotométricas y análisis cromatográficos para la determinación de ácidos grasos y tocoferoles. Se utilizó un análisis de componentes principales (PCA) para determinar agrupamientos de las muestras, de acuerdo al tipo de aceite. Se encontró que las muestras S23, S24 y S25, correspondientes a aceite de sachá inchi, no cumplen con los estándares de ácido linolénico y se encontró que la muestra O05, correspondiente a aceite de oliva, presenta alto contenido de  $\delta$ -tocoferol lo cual no corresponde con un aceite de oliva. Se determinó que las muestras de aceite de ajonjolí son las que contienen mayor contenido de polifenoles totales (838,34 mg AGE/kg) seguidas de las muestras de oliva (714,13mg AGE/kg). Se determinó también, que el aceite de sachá inchi presenta el menor índice aterogénico y trombogénico por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (72,99%). El análisis quimiométrico demostró claras evidencias de que las variables estudiadas en las muestras contienen información relevante para su diferenciación en cuanto a variedad de aceite. Este estudio es importante porque muestra las diferencias existentes respecto a parámetros de calidad, parámetros cromáticos, composición química e índices nutricionales entre diferentes especies de aceites virgen extra comerciales.

Palabras clave: Aceites vegetales, parámetros de calidad, composición química, índices nutricionales, clasificación.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine quality parameters, color parameters, chemical composition, nutritional indexes and chemometric classification of extra virgin vegetable oils sold in supermarkets in Metropolitan Lima. Twenty-eight samples of extra virgin olive, sacha inchi and sesame oils were collected in supermarkets in Metropolitan Lima. Spectrophotometric measurements and chromatographic analyzes were performed for the determination of fatty acids and tocopherols. A principal component analysis (PCA) was used to determine groupings of the samples, according to the type of oil. It was found that samples S23, S24 and S25, corresponding to sacha inchi oil, do not meet linolenic acid standards and it was found that sample O05, corresponding to olive oil, has a high content of  $\delta$ -tocopherol, which does not correspond to an olive oil. The sesame oil samples were determined to contain the highest total phenol content (838.34 mg AGE / kg) followed by the olive samples (714.13mg AGE / kg). It was also determined that sacha inchi oil has the lowest atherogenic and thrombogenic index due to its high content of polyunsaturated fatty acids (72.99%). The chemometric analysis showed clear evidence that the variables studied in the samples contain relevant information for their differentiation in terms of oil variety. This study is important because it shows the differences regarding quality parameters, color parameters, chemical composition, and nutritional indices between different species of commercial extra virgin oils.

Key words: Vegetable oils, quality parameters, chemical composition, nutritional indexes, classification.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el estudio de la nutrición ha podido comprobar que las denominadas “*enfermedades por exceso*”: obesidad, diabetes mellitus, aterosclerosis, infarto de miocardio y la hipertensión arterial, afectan particularmente a los países desarrollados y a las poblaciones con hábitos occidentales (FAO y OMS 1997). Está comprobado que existe una relación directa entre la cantidad de grasa de nuestra alimentación cotidiana con el desarrollo de estas enfermedades. Dado que la prevención de enfermedades crónicas constituye una mejor estrategia que su tratamiento, reducir el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares o cáncer es de gran interés para profesionales de la salud, científicos e industria alimentaria.

Las nuevas investigaciones apuntan a la importancia del tipo de grasas que comemos, y su diferente influencia no sólo sobre los lípidos sanguíneos sino sobre el desarrollo de ciertos tipos de cáncer e, inclusive, sobre el funcionamiento del sistema inmune o del proceso de envejecimiento. En los últimos años se ha registrado un mayor incremento en la búsqueda de fuentes vegetales, a partir de las cuales puedan obtenerse aceites con una elevada proporción de ácidos grasos de alto valor nutricional (FAO 2012).

Los aceites vegetales comestibles constituyen un componente importante en la alimentación, cuya variedad y consumo depende de la disponibilidad de la materia prima de cada país y región. El mayor consumo está representado por los aceites de coco, algodón, oliva y palma lo que representa el 83% del total de aceites consumidos mundialmente (American Soybean Association, 2009). Sin embargo, hoy en día los aceites de oliva, sacha inchi y ajonjolí son mejor reconocidos por sus propiedades nutricionales y características nutraceuticas. (Prata et al. 2018).

Diferentes compuestos están presentes en aceites comestibles vírgenes, como ácidos grasos, tocoferoles, compuestos fenólicos, fitosteroles, carotenoides y tioglicósidos, etc. Sin embargo, las grasas, los aceites y los alimentos con base lipídica se deterioran al sufrir diversas reacciones de degradación por los métodos de elaboración, envasado y conservación que pueden alterar las propiedades nutraceuticas que ofrecen este tipo de alimentos (FAO 2012). Es por ello, que para la industria alimentaria es importante conocer la calidad de los aceites comestibles, así como su estabilidad oxidativa.

El deterioro oxidativo de los aceites, además de modificar sus propiedades funcionales, puede originar la formación de compuestos volátiles, los cuales imparten olores y sabores indeseables, lo que limita su vida útil (Tena et al. 2018). Para determinar el deterioro y calidad de un aceite, diversas investigaciones reportan la medición del índice de peróxidos, índice de acidez, contenido de material no polar, contenido de polímeros, índice de yodo, índice de ácido tiobarbitúrico, contenido de dienos conjugados, entre otros (Tena et al. 2018).

Hacer un estudio de los diferentes parámetros de calidad, propiedades ópticas y la composición química de los aceites vírgenes de mayor consumo acompañado de análisis quimiométrico podría proporcionar información relevante para la salud pública, por lo que en la presente investigación se tuvo como:

### **Objetivo principal**

Determinar parámetros de calidad, parámetros cromáticos, composición química, índices nutricionales y clasificar quimiométricamente aceites virgen extra vegetales comercializados en supermercados de Lima Metropolitana.

### **Objetivos específicos**

- Determinar parámetros de calidad como acidez libre, índice de peróxidos, dienos y trienos conjugados e índice de yodo.
- Determinar parámetros cromáticos CIELAB y pigmentos mediante un método espectrofotométrico.



- Caracterizar químicamente los aceites considerando: ácidos grasos, perfil de tocoferoles y contenido de polifenoles.
- Determinar las características nutricionales en base a la composición de los ácidos grasos.
- Clasificar aceites comerciales según parámetros de calidad, cromáticos, nutricionales y químicos utilizando análisis quimiométricos no supervisados.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 ACEITES**

Los aceites y grasas comestibles son productos de origen animal o vegetal, o sus mezclas, que reúnan las características y especificaciones estipuladas en la reglamentación. Sus componentes principales son glicéridos de los ácidos grasos, pudiendo contener otras sustancias en proporciones menores. (Codex Alimentarius 2012)

Las grasas no líquidas, una vez fundidas deberán ser claras y transparentes, no contener sustancias en suspensión o posos, tener un aspecto limpio y presentar un olor y sabor agradables o neutros. En el caso de haberse empleado disolventes en su extracción, no deberán aparecer residuos de estos en cantidad superior a 1 ppm en el producto terminado (FAO 2012).

### **2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES**

Según la Norma del Codex Alimentarius (2012) de aceites vegetales comestibles los agrupa en dos grandes grupos aceites de oliva y de orujo de aceituna y aceites de semillas de oleaginosas:

#### **2.2.1 Aceite de oliva**

Son los aceites procedentes únicamente de los frutos del olivo (*Olea europaea*). Se clasifican en diferentes tipos:

- a.** Aceites de oliva vírgenes: Son aceites obtenidos exclusivamente a partir del fruto del olivo por procedimientos mecánicos u otros procedimientos físicos, en unas condiciones que no ocasionen la alteración del aceite. No deben sufrir tratamiento alguno distinto del lavado, la decantación, el centrifugado y la filtración, con exclusión de los aceites obtenidos mediante disolvente, mediante coadyuvante de acción química o bioquímica, o por procedimiento de reesterificación y cualquier mezcla con aceites de otra naturaleza.
  
- b.** Aceite de oliva virgen extra: En este tipo de aceite la acidez libre, expresada en ácido oleico, no supera 0,8 g/100 g.
  
- c.** Aceite de oliva lampante: Aceite de oliva virgen cuya acidez libre, expresada en ácido oleico, es superior a 2 g/100g y no es apto para el consumo humano directamente. Debe ser refinado para su uso en la industria alimentaria.
  
- d.** Aceite de oliva refinado: Aquél que se obtiene mediante refinado de aceites de oliva vírgenes, cuya acidez libre, expresada en ácido oleico, no podrá ser superior a 0,3 g/100 g y cuyas otras características son conformes a las establecidas para esta categoría. Este aceite, desprovisto de sabor, olor y color, se enriquece con aceites de oliva vírgenes comestibles distintos del lampante, para obtener un aceite con buenas características sensoriales.
  
- e.** Aceite de oliva: Se denomina de esta forma al que está constituido exclusivamente por una mezcla de aceite de oliva refinado y de aceites de oliva vírgenes distintos del lampante, cuya acidez libre, expresada en ácido oleico no podrá ser superior a 1 g/100g y cuyas demás características son conformes a las establecidas para la categoría.
  
- f.** Aceites de orujo de oliva: El orujo de oliva es el residuo sólido o pasta que se obtiene en el proceso de elaboración del aceite de oliva (durante el prensado o centrifugado). Este residuo se trata con disolventes para extraer el aceite que contiene, obteniéndose así el aceite de orujo crudo, que al no ser comestible debe someterse a un proceso de refinado similar al de los aceites de oliva vírgenes lampantes. Este aceite refinado

desprovisto de sabor, olor y color, se enriquece con aceites de oliva vírgenes comestibles (distintos del lampante).

### **2.2.2 Aceites de semillas oleaginosas**

Son los obtenidos de las semillas oleaginosas expresamente autorizadas, por presión o extracción con disolventes autorizados, y sometidos a refinación completa previa a su utilización para consumo humano. Según el servicio exterior de agricultura de la USDA (United States Department of Agriculture) en el “*Oilseeds: World markets and trades*” de Setiembre del 2019 se presentó que los aceites vegetales con mayor producción y consumo siguen el siguiente orden:

- a.** Aceite de coco: extraídos mediante prensado de la pulpa o la carne de los cocos (*Cocos nucifera*).
- b.** Aceite de algodón: Procedente de las semillas de la planta del algodón (*Gossipium herbaceum*).
- c.** Aceite de oliva: se obtiene del fruto del olivo (*Olea europaea*), denominado oliva o aceituna.
- d.** Aceite de palma: se obtiene del mesocarpio de la fruta de la palma (*Elaeis guineensis*).
- e.** Aceite de maní: Procedente de la semilla de cacahuete (*Aradas hipogaed*).
- f.** Aceite de colza: Procedente de la semilla de colza (*Brassica campestris*), cuyo contenido en ácido erúxico sea igual o menor del 5%.
- g.** Aceite de soya: Procedente de las semillas de soja (*Glycine max, Glycine soja, Soja hispida, Soja dolochos*).
- h.** Aceite de girasol: Procedente de las semillas de girasol (*Helianthus annus*).

## 2.3 COMPOSICIÓN DEL ACEITE

### 2.3.1 Aceite de oliva

La composición en ácidos grasos de un aceite de oliva difiere según la variedad, grado de maduración y zona de producción. En el aceite de oliva, el principal ácido graso es el ácido oleico, formado por una cadena de dieciocho átomos de carbono y una insaturación en la posición n-9 (C18:1 o C18:1 n:9); siguiendo la misma nomenclatura como se detalla en el Cuadro 1 están los; ácidos palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), margárico (C17:0), margaroleico (C17:1), esteárico (C18:0), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0), gadoleico (C20:1), behénico (C22:0) y lignocérico (C24:0) (Montedoro et al. 2007).

Por otro lado el aceite de oliva incluye más de doscientos treinta compuestos, a los que se les denomina componentes minoritarios o menores (Montedoro et al. 2007). Entre estas sustancias destacan los esteroides, alcoholes alifáticos y triterpénicos, hidrocarburos (como el escualeno), pigmentos (clorofilas, carotenos, feofitinas y luteína), tocoferoles, fosfolípidos, compuestos volátiles y compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos más abundantes en el aceite de oliva son los derivados secoiridoides, seguidos de los lignanos, los fenoles simples (principalmente tirosol e hidroxitirosol) y los flavonoides de tipo aglicona (apigenina y luteolina); por otra parte, pueden existir pequeñas cantidades de polifenoles más propios de la pulpa del fruto (oleuropeína y verbascósidos). La actividad antioxidante (de tipo antiradical) sólo la presentan los polifenoles con dos grupos –OH, como el hidroxitirosol y la oleuropeína (Valls et al. 2014).

Los polifenoles son también responsables de los atributos sensoriales de amargor, picor y astringencia, aunque algunos estudios sugieren que el atributo picante está relacionado, casi exclusivamente, con un secoiridoide. Se trata también de compuestos que presentan variaciones considerables entre variedades, maduración, técnicas de cultivo (especialmente el riego) y sistema de extracción, principalmente las condiciones de batido y la cantidad de agua inyectada en el sistema (Ranalli et al. 2001).

Los esteroides son alcoholes de alto peso molecular con una cadena lateral alifática que forman parte de la fracción insaponificable del aceite, pudiendo estar en forma libre o esterificada con ceras triterpénicas. En el aceite de oliva, el esteroide mayoritario es el  $\beta$ -sitosterol, seguido del estigmasterol, así como de otros esteroides minoritarios. Aunque usualmente su análisis se relaciona con estudios de pureza, también existen trabajos donde se relaciona la composición esteróica con factores varietales, de maduración, de zona de producción y de proceso extractivo (Castañer et al. 2013).

Las ceras son ésteres de ácidos grasos con alcoholes grasos, de longitud variable (entre doce y treinta átomos de carbono). En el fruto se concentran en la piel y, durante el proceso de extracción, pueden quedar retenidas, en parte en el aceite virgen y en parte en el orujo, motivo por el cual su análisis suele asociarse a estudios de pureza (Castañer et al. 2013).

Otros compuestos de interés son los pigmentos (clorofilas, carotenoides, feofitinas y luteína). Las clorofilas son pigmentos hidrosolubles responsables del color verde del aceite; su oxidación da lugar a las feofitinas, de color marrón. Los carotenoides son pigmentos lipofílicos responsables del color amarillo del aceite, siendo el mayoritario el  $\beta$ -caroteno, aunque en el aceite también se detectan pequeñas proporciones de luteína (Renalli et al. 2001).

Finalmente, los compuestos volátiles son los responsables del aroma del aceite de oliva virgen. La mayor parte de aromas responsables del frutado de aceituna y sus matices verdes son los que derivan de la acción de la lipoxigenasa (LOX) sobre los ácidos linoleico y linolénico (Padilla et al. 2009). De manera resumida, la LOX promueve la formación del 9- y del 13-hidroperóxido de dichos ácidos grasos. Posteriormente, la acción de liasas específicas rompe los peróxidos para formar aldehídos C6, que, si son insaturados, pueden pasar de la configuración cis-3 a la trans-2 (más estable), por la acción de una isomerasa; por otra parte, los aldehídos C6 pueden ser reducidos a los correspondientes alcoholes (por la alcohol-desidrogenasa), que a su vez dan lugar a ésteres (por la alcohol-acetil-transferasa). Cada uno de estos compuestos puede asociarse a determinados aromas vegetales, como el frutado verde, manzana, hierba, plátano, hoja, floral, etc. (Lercker et al. 1999). En el caso concreto de que el substrato sea el ácido linolénico, la LOX puede catalizar la formación de

radicales estables 1,3-penteno, que pueden dimerizarse para formar hidrocarburos C10 (dímeros penteno), o pueden reaccionar con un radical hidroxilo originando alcoholes C5, que a su vez pueden oxidarse a compuestos carbonilo C5 (Padilla et al. 2009). En el Cuadro 1 se presenta la composición química del aceite de oliva virgen:

**Cuadro 1: Composición química de ácidos grasos del aceite de oliva virgen extra**

| Ácido graso      | Valor % |
|------------------|---------|
| Palmítico C16:0  | 12,93   |
| Esteárico C18:0  | 1,99    |
| Oléico C18:1     | 71,13   |
| Linoléico C18:2  | 11,25   |
| Linolénico C18:3 | 0,90    |

FUENTE: Padilla et al. (2009)

### 2.3.2 Aceite de sachá inchi

El Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis L*), es una oleaginosa silvestre que pertenece a la Familia Euforbiacea nativa de la Amazonia Peruana descrita por primera vez como especie, en el año 1753 por el naturalista Linneo (IIAP 2009).

Esta planta al igual que otras oleaginosas como el maní, la soya, el girasol y el algodón, es de uso casi integral. De ella se aprovechan para consumo las almendras de los granos (tostadas o hervidas), los aceites que se extraen de ellas y sus hojas que también se usan y consumen solas o combinadas con fines alimenticios, medicinales y de cuidado personal. (IIAP, 2009). Según su ubicación geográfica, idioma o dialecto dónde se cultiva y consume al Sachá Inchi se le conoce o nombra de diferentes maneras, teniendo el nombre también diferentes significados: *Sachá inchi*, *Sachá inchik*, *Maní del monte* o *Maní silvestre* (IIAP 2009). Diversos estudios llevados a cabo en el Perú han demostrado un gran potencial en este cultivo como fuente de ácidos grasos insaturados (Follegatti 2009). Los ácidos grasos

insaturados son ácidos carboxílicos de cadena larga, con uno o varios dobles enlaces entre los átomos de carbono y son esenciales para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, conocidos por presentar características terapéuticas para prevenir alteraciones cardiovasculares, artritis y coagulación sanguínea entre otras (Mensik 1992; Bouziane 1994).

El aceite es caracterizado por ser fuente vital de ácidos grasos, entre ellos el Omega, que están en orden decreciente: omega 3 (48,6 %), omega 6 (36,8 %) y omega 9 (8,3 %) como se muestra en el Cuadro 2. Dentro de los componentes principales de la fracción de triacilglicerol (50%) se encuentra el dilinolenoiloleoilglicerol (LnLLn), dilinoleoil-linolenoilglicerol (LLLn) y trilinolenina (LnLnLn), mientras que entre los tocoferoles, el  $\gamma$ -tocoferol es el más abundante en este aceite seguido de  $\delta$ -tocoferol y  $\alpha$ -tocoferol. También, se pueden encontrar varios hidrocarburos alifáticos que contienen altas concentraciones; n-tricosano (C23: 0), n-tetracosano (C24: 0) y n-pentacosano (C25: 0) (Chasquibol et al.2016). Otros compuestos, como los esteroides y los alcoholes, que comprenden una parte importante de la materia insaponificable, son característicos de la autenticidad en los aceites vegetales. Los principales productos finales de esteroides vegetales son sitosterol (estigmasta-5-en-3b-ol), estigmasterol [(24E)-stigmasta-5,22-dien-3b-ol] y campesterol (campest-5-en-3b-ol). Se han encontrado también varios polifenoles en el aceite de Sacha inchi, como alcoholes fenólicos, flavonoides, compuestos secoiridoides, lignanos e isocoumarina (Fanali et al. 2011).

**Cuadro 2: Composición química de ácidos grasos del aceite de Sacha Inchi virgen extra**

| Ácido graso      | Valor % |
|------------------|---------|
| Palmítico C16:0  | 4,0     |
| Esteárico C18:0  | 3,0     |
| Oléico C18:1     | 10,0    |
| Linoléico C18:2  | 36,0    |
| Linolénico C18:3 | 46,0    |

FUENTE: Gutiérrez et al. (2011)



### 2.3.3 Aceite de ajonjolí

El aceite de ajonjolí se deriva de una planta llamada *Sesamum Indicum*. Se cree que el ajonjolí es una de las plantas más antiguas que se ha cultivado en el mundo. Hace muchos años en el Medio Oriente cuando la civilización empezó y nació el arte culinario se descubrió el aceite de ajonjolí, probablemente el primer aceite vegetal de consumo humano en el mundo. (Suja et al. 2005).

El sésamo es un valioso cultivo de semillas oleaginosas que contiene varios bioactivos ricos en nutrientes. Entre los compuestos que incluyen se encuentran lignanos, homólogos de tocoferol, fitosteroles, etc. Los lignanos son el producto del acoplamiento oxidativo de  $\beta$ -hidroxifenilpropano. El sésamo tiene una combinación de lignanos glicosilados y lignanos dispersados en aceite. Basado en sus propiedades medicinales y farmacológicas, los lignanos más importantes son sesamin, sesamol, sesamolin y sesaminol. También, se encuentran tocoferoles (compuestos de vitamina E), que son los radicales libres solubles en lípidos y constituyen una parte importante de la dieta humana. En semillas de sésamo se pueden encontrar el  $\alpha$ -,  $\gamma$ - y  $\delta$ -tocoferoles, que son homólogos del tocoferol. Además de los lignanos y los tocoferoles, el sésamo es una fuente importante de fitoesteroles, fitatos, ácidos grasos poliinsaturados y péptidos bioactivos (Pathak et al. 2017).

El aceite de ajonjolí contiene aproximadamente 47% de ácido oleico y 39% de ácido linoleico. Es utilizado en la cocina, manufactura de confites y otras industrias alimentarias. Este aceite tiene una vida de anaquel bastante larga porque contiene un gran poder antioxidante (Suja et al. 2005).

El aceite virgen de ajonjolí al ser prensado en frío tiene un color amarillo pálido, contiene una acidez libre baja, entre 0,2% a 0,65% oleico, dependiendo de la calidad de la semilla. Contiene una sustancia fenólica, el Sesamol que es un potente antioxidante natural el que junto a las pequeñas proporciones de tocoferoles que contiene, hacen que el aceite sea resistente a la rancidez oxidativa más que los otros aceites vegetales comestibles. Este aceite no solidifica al enfriarse a 0 °C por lo tanto se lo utiliza como sustituto del aceite de Oliva,

siendo de muy buena calidad para uso comestible, para ensaladas, aceite de mesa y para margarina (Tiwari et al. 2014). En el Cuadro 3 se muestra la composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de ajonjolí.

**Cuadro 3: Composición química de ácidos grasos del aceite de ajonjolí virgen extra**

| Ácido graso      | Valor % |
|------------------|---------|
| Palmítico C16:0  | 12,83   |
| Estearico C18:0  | 4,90    |
| Oléico C18:1     | 37,83   |
| Linoléico C18:2  | 42,36   |
| Linolénico C18:3 | 2,08    |

FUENTE: Tiwari et al. (2014)

## 2.4 ÍNDICES NUTRICIONALES DE LOS ACEITES DE ACUERDO AL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

### 2.4.1 Índice de aterogenicidad

Indica la relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados y de las principales clases de insaturados, siendo los primeros considerados pro-aterogénicos (favoreciendo la adhesión de los lípidos a las células inmunológicas y circulatorias) y el anti-aterogénico (inhibiendo la agregación de placa y disminuyendo los niveles de ácido graso esterificado, colesterol y fosfolípidos, previniendo la aparición de enfermedades cardiovasculares) (Garaffo et al. 2011).

$$IA = (C12:0 + 4 * C14:0 + C16:0) / (\Sigma MUFA s + \Sigma PUFA s)$$

Dónde:

C12:0: ácido laurico

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

$\Sigma$ MUFA s: sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados

$\Sigma$ PUFA s: sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados

### 2.4.3 Índice de trombogenicidad

Muestra la tendencia a formar coágulos en los vasos sanguíneos. Esto se define como la relación entre los ácidos grasos protrombogénicos (saturados) y anti-trombogénicos (Larqué et al. 2003; Šimat et al. 2015).

$$IT = [(C14:0+C16:0+C18:0)/ (0,5*\Sigma MUFA_s+0,5*\Sigma PUFA_{n6}+3*\Sigma PUFA_{n3}+(n3/n6))]$$

Dónde:

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

C18:0: ácido esteárico

$\Sigma$ MUFA<sub>s</sub>: sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados

$\Sigma$ PUFA<sub>n6</sub>: sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados omega 6

$\Sigma$ PUFA<sub>n3</sub>: sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados omega 3

### 2.4.4 El índice hipo/hipercolesterolémico (h/H)

Considera efectos específicos de los ácidos grasos sobre el metabolismo del colesterol, se desean altos valores de h/H desde el punto de vista nutricional (Fernández et al. 2007; Attia et al. 2015).

$$h/H = (C18:1+C18:2 + C18:3+C20:3+C20:4+C20:5+C22:4+C22:6)/ (C14:0+C16:0)$$

Dónde:

C18:1: ácido oleico

C18:2: ácido linoleico

C18:3: ácido linolénico

C20:4: ácido araquidónico

C20:5: ácido eicosapentaenoico

C22:6: ácido docosahexaenoico

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

## **2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES VIRGEN EXTRA**

### **2.5.1 Acidez libre**

La acidez libre es una de las características químicas que mejor definen la calidad de un aceite, pues representa el deterioro hidrolítico al que ha sido sometido. Este parámetro nos da idea de cómo ha sido cultivada, recolectada, almacenada, transportada la materia prima y cómo ha sido elaborado el aceite. La acidez libre se expresa en porcentaje de ácido oleico y se determina según la norma UNE-EN ISO 660:2010 midiendo la cantidad de hidróxido potásico al 0,1% en solución alcohol y éter, necesaria para neutralizar los ácidos presentes, utilizando como indicador una solución al 1% de fenolftaleína en metanol. (Salazar et al. 2007). Existen dos formas de expresar la acidez de un aceite:

- Grado de acidez: es el porcentaje de los ácidos libres contenidos en el aceite. En general, en los aceites vegetales se expresan como si todos los ácidos libres fueran ácido oleico (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>).
- Índice de acidez: Indicándose por tal denominación el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos libres contenidos en un g de materia grasa.

### **2.5.2 Índice de peróxidos**

Los productos iniciales de la oxidación de la grasa son los peróxidos. El índice de peróxidos (IP) de una grasa es una medida de su contenido de oxígeno reactivo, expresada en términos de meq de oxígeno por kilogramo de grasa. Los peróxidos formados durante la oxidación de las grasas son de carácter variable, depende de las condiciones bajo las que se formaron (Navas 2010).

Las grasas sufren oxidación espontánea por el oxígeno del aire, por acción enzimática o de microorganismos, la luz, el calor y ciertas impurezas tales como el agua y los metales. La fase inicial de la oxidación de la grasa implica la adición del oxígeno al átomo de carbono del doble enlace con formación de un hidroperóxido que es el producto de la descomposición primaria de la oxidación de las grasas. Los productos de la descomposición secundaria incluyen aldehídos, cetonas, ácidos alcoholes y agua (Navas 2010).

### **2.5.3 Dienos y trienos conjugados**

La supervisión de la calidad de los aceites puede ser medida por las absorbancias recogidas entre 200 y 300 nm, debido a que la absorción en este rango muestra la presencia de dienos y trienos conjugados. Una baja absorción en esta área es un signo de alta calidad y es característico de un aceite extra virgen, por el contrario, una alta absorción demuestra una baja calidad del aceite. Esta técnica permite determinar la calidad de los aceites y permite diferencias entre aceites extra virgen, virgen y regulares según el International Olive Council (IOC 2010).

### **2.5.4 Índice de yodo**

Es la medida de las insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman un triglicérido (dobles enlaces). Los ácidos grasos no saturados son líquidos a temperatura ambiente. El índice de yodo (IY) está relacionado con el punto de fusión o dureza y densidad de la materia grasa. Y se define como los gramos de halógeno calculados en yodo que pueden fijar bajo ciertas condiciones 100 gramos de grasa (Navas 2010).

El índice de yodo es una propiedad química relacionada con la insaturación, con el Índice de Refracción y con la densidad: (a mayor índice de yodo, mayor índice de refracción y mayor densidad). Los aceites comestibles contienen buena cantidad de ácidos grasos insaturados, dando un índice de yodo relativamente alto (Navas 2010).

## 2.6 COMPUESTOS BIOACTIVOS GENERALES DE LOS ACEITES

En los aceites vegetales se puede identificar una fracción mayoritaria (ácidos grasos y triglicéridos) y una fracción minoritaria (esteroles, compuestos fenólicos, compuestos volátiles, pigmentos, hidrocarburos y tocoferoles) de acuerdo con su presencia en el tipo de aceite. (Ramirez-Tortosa et al. 2009).

### 2.6.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos desempeñan un importante papel en las grasas, dado que forman parte de los triglicéridos (en los que se unen al glicerol), pero también de los fosfolípidos (junto con glicerol, grupo fosfato y otros grupos hidrofílicos); además, pueden esterificarse con el colesterol (para dar lugar a ésteres del colesterol). Los ácidos grasos de interés biológico son ácidos carboxílicos con un número de átomos de carbono par (entre 4 y 24) y se pueden clasificar por la longitud de su cadena, su estructura y posición del primer doble enlace. Por la longitud de su cadena, pueden ser de cadena corta (4-6 carbonos), de cadena media (8-12 carbonos), de cadena larga (14-18 carbonos) y de cadena muy larga (20 o más carbonos). (Terna et al. 2018)

Teniendo en cuenta su estructura química, se clasifican en:

- Ácidos grasos saturados (AGS): sin dobles enlaces (todos los enlaces de la molécula son sencillos).
- Ácidos grasos monoinsaturados (AGM): con un doble enlace.
- Ácidos grasos polinsaturados (AGP): con más de un doble enlace.

Por su configuración espacial, puede haber ácidos grasos *cis* o *trans*. Los dobles enlaces casi siempre tienen una configuración *cis*, lo que origina un ángulo de unos 120° y una curvatura de la molécula. Sin embargo, los ácidos grasos *trans*, que se encuentran de manera natural, en pequeñas cantidades, en la grasa de la leche y carne de los rumiantes y se producen a escala industrial en algunos procesos de hidrogenación, refinado, etc., son rectos como los saturados y tienen propiedades biológicas diferentes de los *cis*; en concreto, se pueden acumular en algunos tejidos y provocar alteraciones tisulares (Mataix 2004).

La posición del primer doble enlace también tiene importancia fisiológica y ha llevado a definir tres series de ácidos grasos: los n-3, cuando el primer doble enlace se encuentra en la posición 3 desde el metilo terminal, y los n-6 y n-9, cuando este doble enlace está en posición 6 o 9 a partir del carbono terminal, respectivamente (Tema et al. 2018). Las series n-3, n-6 y n-9 (también denominadas  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 y  $\omega$ -9) definen grupos de ácidos grasos, relacionados metabólicamente, que tienen en común la posición del primer doble enlace a partir del extremo metilo. Los ácidos grasos tienen un nombre común y otro sistemático y se suele denominar también indicando el número de carbonos, los dobles enlaces que presentan y la posición del primero de ellos. Por la acción de desaturasas y elongasas, los ácidos grasos de las series  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 y  $\omega$ -9 permiten la obtención de derivados de interés biológico. Concretamente, a partir del ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) se pueden obtener los ácidoeicosapentanoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA); a partir del ácido linoleico ( $\omega$ -6) se obtiene el ácido araquidónico, y del ácido oleico ( $\omega$ -9) se sintetizan, entre otros, el ácido eicosatrienoico. Sin embargo, el ácido linoleico utiliza las mismas enzimas para desaturación y elongación que el  $\alpha$ -linolénico, por lo que un exceso en su aporte puede limitar la síntesis de EPA y DHA, lo que no resulta conveniente (Mataix 2004).

#### - **Ácidos grasos esenciales:**

El organismo tiene una gran habilidad para sintetizar muchos componentes; así, el exceso de proteínas y carbohidratos puede ser convertido en grasa. Los ácidos grasos se clasifican como esenciales en función de la posición del primer doble enlace, contando a partir del grupo metilo que está al final de la cadena de grupos acilos. Los mamíferos no poseen enzimas capaces de sintetizar dobles enlaces en las posiciones n-3 y n-6 del ácido graso; por ello, necesitan obtener con la dieta los ácidos grasos esenciales linoleico y  $\alpha$ -linolénico. Durante muchos años, los ácidos grasos polinsaturados linoleico, linolénico y araquidónico fueron considerados esenciales; sin embargo, recientes investigaciones han mostrado que el ácido araquidónico puede ser sintetizado en el cuerpo a partir del linoleico y, por tanto, no tiene que ser necesariamente suministrado como tal en la dieta (Mataix 2004).

### **2.6.2 Tocoferoles**

Los tocoferoles generalmente están presentes en las nueces y aceites vegetales comunes (germen de trigo y girasol), en cambio los tocotrienoles se encuentran en mayor

concentración en cereales de granos (avena, cebada y centeno) y ciertos aceites vegetales (aceite de palma y aceite de salvado de arroz) (Schwenke 2002).

La vitamina E es el término genérico usado para describir a una familia de ocho antioxidantes liposolubles con dos tipos de estructuras: los tocoferoles ( $\alpha$ -tocoferol,  $\beta$ -tocoferol,  $\gamma$ -tocoferol y  $\delta$ -tocoferol) y los tocotrienoles ( $\alpha$ -tocotrienol,  $\beta$ -tocotrienol,  $\gamma$ -tocotrienol y  $\delta$ -tocotrienol), los mismos que se diferencian en la saturación de la cadena lateral, los primeros tienen una cadena saturada y los segundos una insaturada con tres dobles enlaces. Su estructura consta de dos partes primarias, un anillo complejo “cromano” con un hidroxilo (6- hidroxicromano) y una larga cadena lateral de dieciséis carbonos constituidas por la unión de tres unidades de isopreno saturado. El grupo cromano puede estar metilado en diferentes posiciones para generar diferentes componentes con actividad vitamínica (Bramley et al. 2000; Hai 2007).

Se ha señalado que la función más importante de la vitamina E en el cuerpo es su actividad antioxidante y el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares. El grupo hidroxilo libre, contenido en el anillo aromático, es responsable de las propiedades antioxidantes y el átomo de hidrógeno de su grupo puede ser donado a los radicales libres resultando un radical de vitamina E estable. La vitamina E también ha mostrado tener un rol en la función inmunológica, en la reparación de ADN y otros procesos metabólicos (Hai 2007). Yoshida et al. (2003) sostienen que cada uno de los tocoferoles que conforman esta vitamina poseen diferente actividad antioxidante in vitro, la cual decrece en el orden  $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ , al igual que su potencial biológico. Considerándose generalmente, al  $\alpha$ -tocoferol la forma más importante por ejercer una mayor actividad biológica.

### **2.6.3 Fitosteroles**

Los fitosteroles identificados en los aceites vegetales son esteroides libres y ésteres de esteroides de ácidos grasos, como b-sitosterol, campesterol, brasicasterol y estigmasterol (Morales y Przybylski 2013). Los esteroides muestran actividades antioxidantes naturales en los alimentos. Ellos parecen ser ineficaces a bajas temperaturas y bajo las condiciones de pruebas de almacenamiento acelerado (100°C). Sin embargo, tienen la capacidad de inhibir la reacción de polimerización a alta temperatura (> 150° C) (Velasco y Dobarganes 2002).



Este efecto no se ha observado en altas temperaturas en todos los esteroides. Esta actividad ha sido explicada por la presencia del grupo etilideno. Se ha informado que algunos esteroides se oxidan durante el almacenamiento de aceite vegetal y a un ritmo acelerado durante la fritura.

Durante el almacenamiento, aproximadamente del 30% al 45% de los esteroides pueden oxidarse, mientras que durante la fritura, casi todos los esteroides se transforman en óxidos y componentes de alto peso molecular. En el caso del sitosterol, se ha demostrado que se comporta en parte como prooxidante al aumentar la solubilidad del oxígeno en el aceite y en parte como un débil antioxidante en el aceite de girasol y la manteca de cerdo al competir con las moléculas de lípidos para la oxidación en la superficie del aceite (Brimberg y Kamal-Eldin 2003).

### **2.6.3 Carotenoides**

Los carotenoides son los únicos tetraterpenos naturales, derivados de la unión de ocho unidades de isopreno que origina un esqueleto de cuarenta átomos de carbono. En general los carotenoides se clasifican en dos grandes grupos: carotenos (estrictamente hidrocarburos) y xantofilas. Los carotenoides pueden presentar una estructura acíclica como licopeno, o poseer distintas estructuras cíclicas de cinco o seis carbonos en uno o ambos extremos, como  $\beta$ -caroteno. Dado el gran número de dobles enlaces de la cadena poliénoica central, los carotenoides pueden existir en diversas conformaciones cis/trans, aunque la más estable y por tanto presente en la naturaleza es la todo-trans (Ramirez-Tortosa et al. 2006)

Los carotenoides se localizan en las células vegetales en el interior de orgánulos especializados, cloroplastos y cromoplastos; en los primeros acompañan a las clorofilas. La presencia del extenso sistema de dobles enlaces conjugados de la cadena de los carotenoides conforma un cromóforo (parte de la estructura responsable de la absorción de luz visible y por tanto del color del compuesto) cuya capacidad de absorción de luz da lugar a los llamativos y característicos colores de estos pigmentos. El número de dobles enlaces conjugados y la presencia de diferentes grupos funcionales determinará en última instancia las características espectroscópicas propias de cada pigmento (Ramirez-Tortosa et al. 2006).

Los carotenoides se describen en la literatura como potentes protectores contra oxidación de la luz actuando como neutralizadores de oxígeno. La presencia de carotenoides en aceites comestibles también puede ayudar a proteger contra la formación de oxígeno singlete bloqueando la transmisión de luz a través del aceite. Debido a su posible función como filtro de luz natural, los carotenoides absorben eficazmente luz con longitudes de onda entre 400 y 500 nm (Morales y Przybylski 2013). También inactivan los sensibilizadores excitados físicamente absorbiendo energía de ellos. Por otro lado, los carotenoides pueden donar hidrógeno al radical hidroxilo y producir un radical carotenoide, que es bastante estable debido a la deslocalización de electrones no apareados a través de su sistema de polieno conjugado. Estos efectos antioxidantes de los carotenoides se ven afectados por la condición de almacenamiento y la composición química de los aceites. Se ha demostrado que el *b*-caroteno puede proteger los aceites vegetales purificados que contienen clorofilas contra el deterioro por exposición a la luz, pero no se observó el mismo efecto protector durante el almacenamiento sin luz (Morales y Przybylski, 2013). Algunos estudios sugieren que el *b*-caroteno puede actuar como un inhibidor efectivo de la fotooxidación en aceites vegetales solo cuando están presentes los tocoferoles (Del Carlo et al. 2010).

#### **2.6.4 Clorofilas**

La clorofila es el pigmento fotorreceptor responsable de la primera etapa en la transformación de la energía de la luz solar en energía química, y consecuentemente la molécula responsable de la existencia de vida superior en la Tierra. Se encuentra en orgánulos específicos, los cloroplastos, asociada a lípidos y lipoproteínas.

Existen dos tipos principales de clorofila, la clorofila *a* y la clorofila *b*. La diferencia entre ellas es que la clorofila *b* tiene un grupo formilo (-CHO) en lugar de un grupo metilo de la clorofila en uno de los carbonos del anillo de porfirina. En los vegetales superiores, la más abundante es la clorofila *a* (Ray et al. 2015).

Las clorofilas y sus derivados son pigmentos comunes presentes en los aceites vegetales comestibles. Sin embargo, estos pigmentos son generalmente eliminados durante el proceso de refinación, especialmente durante el paso de blanqueo. Las clorofilas y sus productos de degradación, feofitinas y feoforbidos, actúan como sensibilizadores para producir oxígeno

en presencia de luz, acelerando la oxidación del aceite. Por lo tanto, las clorofilas y sus pigmentos derivados mejoran las primeras fases del proceso de autooxidación y generan alilo hidroperóxidos (Giuliani et al. 2011). Las feofitinas tienen una mayor actividad sensibilizante que las clorofilas, pero más bajas que los feoforbidos, aunque las clorofilas son prooxidantes fuertes bajo la luz, actuando como un sensibilizador para producir oxígeno, actúan como antioxidantes en la oscuridad, posiblemente mediante la donación de hidrógeno a los radicales libres (Giuliani et al. 2011).

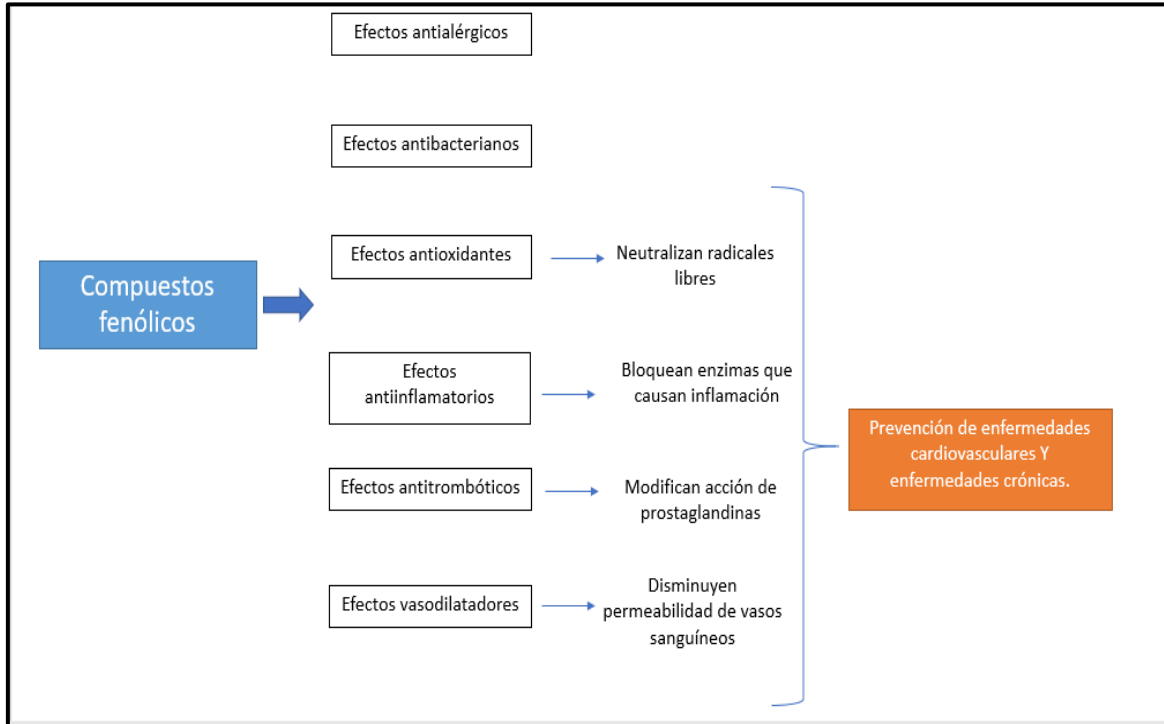
### **2.6.5 Compuestos fenólicos**

Son moléculas que poseen al menos un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, en formas simples o formando polímeros. Se pueden dividir en varias clases: a) ácidos fenólicos presentes en cantidades pequeñas, que pueden ser de la serie de los ácidos benzoicos (ácido benzoico, p-hidroxibenzoico, protocatequínico, gálico, vanílico y sirínico) y de los ácidos cinámicos (cinámico, p-cumárico, o-cumárico, cafeico, ferúlico, u sinápico), b) alcoholes fenólicos como el (p-hidroxifenil) etanol o tirosol, el (3,4-dihidroxifenil) etanol o hidroxitirosol, y el (3,4-dihidroxifenil) etanol-glucósido, y c) los secoiridoides que se caracterizan por la presencia de ácido elenólico o alguno de sus derivados (Ray et al. 2015).

Los fenoles naturales tienen antioxidantes y protegen los aceites vegetales de la oxidación (Servili et al. 2009). Lignanós presentes en alta concentración en algunos aceites vegetales actúa como un eliminador de radicales libres. Además, presentan actividad antioxidante en la oscuridad así como bajo la luz actuando también como desactivador de oxígeno. Por otro lado, los o-difenoles, como el hidroxitirosol, protocatecuico, los ácidos cafeico, p-cumarico, sinápico, cinámico y siríceo actúan como antioxidantes que donan hidrógeno. Esta actividad se presenta en mayor grado en compuestos monohidroxi o polihidroxifenólicos con varias sustituciones de anillos aromáticos (Prata et al. 2018).

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos hidrofílicos puede explicarse por el hecho de que los antioxidantes polares son más efectivos en los lípidos no polares, mientras que los antioxidantes no polares son más activos en las emulsiones de lípidos polares. Se explica porque los antioxidantes hidrofílicos, como los fenoles polares, están orientados en

la interfaz aire-aceite protegiendo el aceite contra la oxidación mientras que los antioxidantes lipofílicos, como tocoferoles, permanecen en solución en el aceite (Borello et al. 2019). Se le atribuyen otras propiedades funcionales también, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1: Propiedades funcionales de los compuestos fenólicos**

En los últimos años, se ha demostrado que una dieta rica en polifenoles vegetales mejora la salud y disminuye la incidencia de enfermedad cardiovascular. La capacidad de los polifenoles para modular la actividad de varias enzimas y por lo tanto interferir en los mecanismos de señalización en varios de los procesos celulares pueden atribuirse en parte a las propiedades fisicoquímicas de estos compuestos que les permiten participar en diferentes reacciones metabólicas de oxidación-reducción celular. Por lo tanto, las propiedades antioxidantes de los polifenoles pueden explicar algunos de sus efectos beneficiosos.

Los polifenoles son los antioxidantes más abundantes en la dieta; su ingesta es 10 veces mayor que la de la vitamina C y 20 veces el de la vitamina E o los carotenoides. Los experimentos en animales y clínicos han demostrado que los polifenoles disminuyen los niveles cardíacos de especies reactivas de oxígeno (ROS) y malondialdehído (MDA), un

metabolito que se forma cuando ROS y las lipoproteínas oxidadas de baja densidad (LDL) atacan los ácidos grasos en las membranas celulares (Quiñones et al. 2012).

## **2.8 ALTERACIONES Y CONSERVACIÓN EN ACEITES VÍRGEN EXTRA**

Las grasas y los aceites son ingredientes importantes en la dieta humana por sus aportes nutricionales y sensoriales. Además, las grasas y aceites son los ingredientes principales en una gran cantidad de alimentos procesados. Estos ingredientes son bastante estables durante el tiempo si se almacenan bajo condiciones controladas. En otras palabras, su degradación ocurre lentamente durante su "vida útil". Sin embargo, diferentes factores pueden afectar considerablemente la estabilidad de estos ingredientes. En los estados más avanzados de degradación, grasas y aceites desarrollan sabores desagradables y cambios indeseables en su calidad, disminuyendo también su valor nutricional (Tena et al. 2018).

### **2.8.1 Mecanismos de oxidación de las grasas y aceites**

La compleja y variada química de los aceites y grasas hace que la tasa de deterioro sea diferente para cada tipo de aceite o grasa comestible, incluso cuando se mantiene en condiciones ideales. Esto significa que algunos aceites durarán mucho, mientras que otros pueden deteriorarse antes de la "fecha de caducidad" declarada en la etiqueta según su composición química y las condiciones de almacenamiento. La "vida útil" se ve afectada por la estabilidad química y por diferentes factores que incluso en condiciones leves interfieren en la estabilidad. Numerosos estudios científicos han demostrado que la luz, el aire, la humedad y el calor durante el almacenamiento tienen un efecto perjudicial. de la composición química de grasas y aceites: (i) pérdida o modificación de compuestos químicos (ácidos grasos poliinsaturados, antioxidantes, como fenoles, tocoferoles y carotenoides), que son apreciados por su implicación nutricional en la salud; (ii) formación de otros compuestos químicos (hidroperóxidos y ácidos grasos libres), que no tienen efectos beneficiosos en salud y están involucrados en la formación de productos de oxidación secundaria; (iii) finalmente, la oxidación secundaria, modifican las propiedades sensoriales de los aceites y grasas, como consecuencia de la formación de aldehídos insaturados y cetonas, que son responsables del

efecto "rancio" que puede resultar en el rechazo del producto por parte del consumidor (García-González et al. 2011).

Los principales procesos que conducen al deterioro de los lípidos durante el almacenamiento es la ranciedad oxidativa u oxidación. La oxidación de lípidos es identificada como el principal problema que afecta a los aceites comestibles (Velasco y Dobarganes 2002). Dependiendo del factor que actúa como fuente de energía para iniciar la oxidación, se pueden identificar tres tipos diferentes de procesos: (i) la fotooxidación tiene lugar cuando los aceites están expuestos a la luz; (ii) la termoxidación ocurre cuando los aceites están expuestos a altas temperaturas ( $> 60^{\circ}\text{C}$ ); (iii) y la autooxidación ocurre cuando hay disponibilidad de oxígeno y los compuestos orgánicos reaccionan con el oxígeno molecular (Frankel 2005). Este último proceso es uno de los mejores conocidos y la causa de las alteraciones más frecuentes durante el almacenamiento (Morales y Przybylski 2013).

#### - **Mecanismo de autooxidación:**

El mecanismo de autooxidación, también conocido como peroxidación mediada por radicales libres, consta de tres pasos: iniciación, propagación y terminación. La iniciación consiste en la extracción de hidrógeno del ácido graso insaturado por la acción de radicales, formando un radical alquilo estabilizado por resonancia a un sistema de dieno conjugado. La posición del electrón determinará la naturaleza de los productos de oxidación de lípidos. Una vez que se ha iniciado el proceso y se han formado los radicales alquilo, múltiples tipos de reacciones (por ejemplo, reacciones de adición y eliminación) pueden llevarse a cabo durante la propagación. La adición de moléculas de oxígeno a un radical alquilo produce un radical peróxido conjugado. Este radical peróxido es capaz de extraer hidrógeno de otro ácido graso poliinsaturado (PUFA), que produce un hidroperóxido, conocido como producto de oxidación primaria, y un nuevo radical alquilo. Esta secuencia de reacción puede repetirse muchas veces mientras existan oxígeno y lípidos no oxidados (Girotti 1985).

En paralelo con el paso de propagación, tiene lugar el paso de terminación. Las reacciones involucradas en el paso de terminación podrían ser la combinación de dos radicales alquilo o dos radicales peróxido o una mezcla de ellos. Otras reacciones de terminación incluyen la

combinación de radicales alquilo o peróxido con ácidos no grasos tales como antioxidantes fenólicos presentes en la matriz lipídica. Otro tipo de reacción de terminación es la reacción de fragmentación, que tiene una gran importancia cuando los ácidos grasos poliinsaturados son sometidos a altas temperaturas o en presencia de algunos catalizadores, como restos de metales. En ese caso, los radicales alcoxi pueden sufrir descomposición por escisión formando aldehídos y otros compuestos volátiles conocidos como productos de oxidación secundaria. Estos son los compuestos responsables de los cambios en el sabor, aroma, sabor y calidad de las grasas y aceites (Morales y Przybylski 2013).

- **Oxidación a alta temperatura: termoxidación:**

Existe un fuerte efecto entre la solubilidad del oxígeno y la temperatura (Velasco y Dobarganes, 2002). La termoxidación, que es un proceso que no ocurre durante el almacenamiento de grasas y aceites, es producido a alta temperatura ( $> 150^{\circ}\text{C}$ ) y se caracteriza por una disminución en la solubilidad del oxígeno. En consecuencia, la formación de alquilo (L) y alcoxilo (LO) son más altos que los radicales alquilperóxilo (LOO), y se promueve la formación de dímeros y polímeros (Velasco y Dobarganes 2002).

- **Oxidación en presencia de luz: fotooxidación:**

La luz es el tercer factor importante en la oxidación y tiene un efecto significativo sobre la oxidación. El mecanismo que se activa por la luz se conoce como fotooxidación. Algunos compuestos menores presentes en grasas y aceites son fotosensibilizados, principalmente compuestos de pigmentos, como clorofilas, feofitinas, porfirinas, riboflavina, mioglobina y colorantes sintéticos añadidos intencionalmente. Estos compuestos absorben energía de la luz ultravioleta o visible. (Velasco y Dobarganes 2002).

## **2.9 QUIMIOMETRÍA**

El uso de diferentes herramientas o metodologías permitidas para el desarrollo de nuevos productos, procesos de control de calidad, actividades de cumplimiento normativo y resolución de problemas en las ciencias de alimentos se basan en la aplicación de estadísticas

modernas, diseño experimental y quimiometría (Bendell et al. 1999; McGorin 2009). Los científicos y tecnólogos de alimentos deben lidiar con grandes cantidades de datos derivados de diferentes dispositivos de medición, experimentos sensoriales y procesos. Por lo tanto, tanto los científicos como los investigadores de alimentos necesitan usar disciplinas y herramientas adicionales a las tradicionales; por ejemplo las integradas en la disciplina de la quimiometría (Kumar et al. 2014).

La quimiometría es una disciplina que utiliza las matemáticas, la estadística y la lógica formal para diseñar o seleccionar los procedimientos óptimos de experimentación, proporcionar la máxima información analizando los datos y sistemas químicos. La quimiometría en las ciencias alimentarias contemporáneas es amplia y colabora con los problemas relacionados con el análisis de datos multivariados (Kumar et al. 2014).

Las tecnologías y métodos utilizados en la biología y ciencias químicas, combinadas con herramientas quimiométricas, abre nuevas oportunidades para la evaluación del producto químico y propiedades físicas de los alimentos utilizando un enfoque diferente, que significa permitir el análisis de toda la matriz del alimento (Fotakis et al. 2013). El campo de la quimiometría, a diferencia de las estadísticas clásicas, considera varias variables al mismo tiempo teniendo en cuenta la colinealidad (la variación en una variable, o grupo de variables, en términos de co-variación con otras variables) (Cozzolino 2013). Este tipo de análisis describe matemáticamente la co-variación (grado de asociación) entre variables, o ayuda a encontrar una función matemática (modelo de regresión), por el cual los valores de las variables dependientes se calculan a partir de los valores de las variables independientes (Brereton 2000). De esta forma, la información puede asociarse no solo a una variable específica (por ejemplo, longitud de onda, pico, punto de datos) sino también con las asociaciones e interrelaciones entre las variables durante el análisis (Brereton 2000).

Por lo tanto, la quimiometría proporciona las herramientas para analizar alimentos más allá del mundo unidimensional (univariante), donde el análisis quimiométrico puede revelar propiedades que son importante a través de sus diversas interferencias e interacciones en la matriz alimentaria (Woodcock et al. 2008).

Según el tipo de información que se necesite obtener, respuesta categórica o de escala, se dividen en métodos cualitativos o cuantitativos (Brereton 2003).



- Los cualitativos son métodos de reconocimiento de pautas, se pueden dividir en métodos supervisados o no supervisados, dependiendo de si se conoce o no a priori si el objeto pertenece a una clase determinada. Los métodos no supervisados buscan agrupamientos en un espacio n-dimensional sin conocer las clases a las que pertenece el objeto; sin embargo, en los supervisados se tiene un conocimiento previo de las clases y se decide a cuál de ellas pertenece un determinado objeto (Brereton 2003).
- En el caso de los métodos cuantitativos, podemos hacer una primera división entre métodos univariantes o multivariantes. Dentro de estos métodos multivariantes se distinguen entre modelos lineales y no lineales dependiendo de la función matemática. Los modelos lineales han sido los más empleados. Si se opera con las variables originales se utiliza la regresión lineal múltiple, y cuando se trabaja con unas variables reducidas, se usa la regresión por componentes principales o la regresión por mínimos cuadrados parciales (Fernandez-Cabanás 2007).

### **2.9.1 Análisis de componentes principales (PCA)**

El análisis de componentes principales es un método de reconocimiento de pautas no prefijadas, habitual en análisis multivariante, cuyo objetivo es reducir el número de variables iniciales, sin perder información y así poder observar estructuras y tendencias en las muestras. El PCA consiste en:

- Estimar la dimensionalidad real de los datos de las muestras estudiadas; y reducir esta dimensionalidad manteniendo la información relevante del sistema.
- Calcular un nuevo sistema de coordenadas, para lo que se buscan las direcciones que expliquen la máxima variabilidad en los datos de las muestras. Estos nuevos ejes se denominan componentes principales (PCs). Así el primer componente principal es la dirección que explica la máxima variabilidad en los datos de las muestras; el segundo, se escoge que sea perpendicular al primero, y que explique la máxima variabilidad

de los datos de las muestras una vez restada y explicada por el primer componente principal y así sucesivamente (Feernandez- Cabanás 2007).

Definir estos nuevos ejes matemáticamente, mediante los *loadings*, cargas o pesos que son los cosenos de los ángulos que forman cada uno de estos nuevos ejes con los antiguos, y los scores o puntuaciones que son las coordenadas en estos nuevos ejes (Brereton 2003).

Mediante este análisis de componentes principales se puede determinar si una nueva muestra está dentro del espacio determinado por el conjunto de calibración cuantitativa mediante la distancia de Mahalanobis (H) con valor límite de tres, antes de realizar una medida cuantitativa. Aquellas muestras que no pertenezcan al espacio espectral no deben ser predichas y se debe de realizar un análisis de referencia y guardar el espectro para una posible ampliación del modelo. Durante el análisis de muestras es importante registrar la distancia de Mahalanobis a muestra vecina (NH), aquellas cuyo valor de NH sea superior a 0,6 pueden resultar interesantes con objeto de mejorar el modelo (Feernandez- Cabanás 2007).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en los laboratorios del Instituto de Investigación Nutricional (IIN), en el Instituto de la Grasa (Sevilla-España) y en el Laboratorio de Color y Calidad de Alimentos de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Sevilla. Los análisis experimentales se realizaron durante los meses de enero a julio 2019.

#### 3.2 MATERIA PRIMA

Las muestras fueron colectadas en los supermercados de Lima Metropolitana, se seleccionaron aceites virgen extra de oliva, Sacha Inchi y Ajonjolí. El número de muestras fue de veintiocho marcas comerciales. A continuación, se muestra el Cuadro 4 con las características de las muestras.

**Cuadro 4: Características comerciales de las muestras de aceites comerciales perua**

| Muestra | Clasificación | Origen | Cantidad (ml) | Precio (S/.) | Tipo de envase | Color de envase |
|---------|---------------|--------|---------------|--------------|----------------|-----------------|
| O01     | Oliva         | Perú   | 200           | 14,50        | Vidrio         | Transparente    |
| O02     | Oliva         | España | 250           | 23,90        | Vidrio         | Verde           |
| O03     | Oliva         | España | 500           | 18,50        | Vidrio         | Transparente    |
| O04     | Oliva         | Perú   | 200           | 15,50        | Vidrio         | Transparente    |
| O05     | Oliva         | Perú   | 200           | 14,70        | Vidrio         | Transparente    |
| O06     | Oliva         | Perú   | 200           | 16,50        | Vidrio         | Verde           |
| O07     | Oliva         | España | 250           | 18,90        | Vidrio         | Verde           |

« Continuación »

| Muestra | Clasificación | Origen | Cantidad<br>(ml) | Precio<br>(S/.) | Tipo de<br>envase | Color de<br>envase |
|---------|---------------|--------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| O08     | Oliva         | Italia | 250              | 18,50           | Vidrio            | Ámbar              |
| O09     | Oliva         | España | 250              | 18,90           | Vidrio            | Verde              |
| O10     | Oliva         | Italia | 200              | 17,20           | Plástico          | Verde              |
| O11     | Oliva         | Perú   | 450              | 31,90           | Vidrio            | Transparente       |
| O12     | Oliva         | España | 500              | 28,90           | Vidrio            | Verde              |
| O13     | Oliva         | Perú   | 250              | 17,50           | Vidrio            | Verde              |
| O14     | Oliva         | Italia | 250              | 21,50           | Vidrio            | Verde              |
| O15     | Oliva         | Italia | 250              | 21,90           | Vidrio            | Verde              |
| O16     | Oliva         | Perú   | 500              | 24,90           | Plástico          | Transparente       |
| O17     | Oliva         | España | 1000             | 22,50           | Plástico          | Verde              |
| O18     | Oliva         | Perú   | 200              | 13,50           | Plástico          | Transparente       |
| O19     | Oliva         | España | 250              | 15,90           | Vidrio            | Verde              |
| O20     | Oliva         | Chile  | 250              | 20,30           | Vidrio            | Ámbar              |
| S 21    | Sacha inchi   | Perú   | 250              | 37,70           | Vidrio            | Verde              |
| S 22    | Sacha inchi   | Perú   | 250              | 28,50           | Vidrio            | Verde              |
| S 23    | Sacha inchi   | Perú   | 250              | 44,50           | Vidrio            | Ambar              |
| S 24    | Sacha inchi   | Perú   | 250              | 23,50           | Vidrio            | Verde              |
| S 25    | Sacha inchi   | Perú   | 250              | 36,90           | Vidrio            | Verde              |
| A 26    | Ajonjolí      | Perú   | 100              | 8,90            | Vidrio            | Transparente       |
| A 27    | Ajonjolí      | Perú   | 250              | 29,50           | Vidrio            | Verde              |
| A 28    | Ajonjolí      | Perú   | 250              | 32,90           | Vidrio            | Ambar              |

### **3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 Metodología de muestreo**

Para la selección de los aceites se realizó un estudio de los diferentes supermercados limeños y se encontró que existen veintiocho marcas de aceites virgen extra, entre ellas aceite de oliva, aceite de sacha inchi y aceite de ajonjolí. Las muestras de aceites fueron obtenidas de supermercados procedentes de Lima, Perú. Las muestras se seleccionaron en forma aleatoria con respecto. Se compraron cuatro botellas de aceite por marca semanalmente en los diferentes supermercados de la ciudad capital, durante el período de cinco semanas, haciendo un total de veinte muestras. Las muestras fueron recepcionadas en su envase original sin exposición al calor y luz. Luego, fueron almacenadas a 4°C hasta su posterior análisis.

a. Criterios de inclusión:

Se consideraron todas las marcas comerciales que declaren en su etiqueta ser virgen extra, que tengan fecha de vencimiento no próxima a seis meses desde su compra y que cuenten con registro sanitario.

b. Criterios de exclusión:

Se excluyeron aquellos aceites que muestren algún deterioro en el envase o hayan estado abiertos previamente a la compra.

### **3.4 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS**

#### **3.3.1 Materiales**

- Materiales de vidrio necesarios para realizar las pruebas.
- Papel filtro. (Whatman®)
- Pipetas Pasteur.
- Cubetas de cuarzo de 10mm.
- Cubetas de vidrio de 2mm.
- Magnetos de 5 cm.

### 3.3.2 Reactivos

- Fenoltaleína (PubChem CID: 4764), grado reactivo analítico (PA), Merk, Alemania
- Hidróxido de potasio (PubChem CID: 14797), grado reactivo analítico (PA), Merk, Alemania.
- Folin ciocalteau 2N (Merk, Alemania)
- Ácido gálico (PubChem CID: 370), grado reactivo analítico (ACS), Merk, Alemania
- $\alpha$ -tocoferol (PubChem CID: 86472), grado HPLC, Merk, Alemania.
- Cloruro de bario (PubChem CID: 25157), grado reactivo analítico (PA), Merk, Alemania
- Ácido clorhídrico (PubChem CID: 28153), grado reactivo analítico (ACS) 37%, Merk, Alemania
- Hexano (PubChem CID: 8058), grado HPLC, J.T Baker, USA
- Etanol (PubChem CID: 702), grado reactivo analítico (PA), Merk, Alemania
- Isooctano (PubChem CID: 91335781), grado químicamente puro (QP), Bruselas, Bélgica.
- Cloroformo (PubChem CID: 6212), grado químicamente puro (QP), Bruselas, Bélgica.

### 3.3.3 Equipos

- Espectrofotómetro UV visible 1700, Shimadzu®, Serie N° A11024201305.
- Espectrofotómetro UV visible Cary 8454, Agilent Technologies®.
- Espectrofotómetro Genesys 10S UV-vis, Thermo Scientific®.
- Cromatógrafo de gases, Agilent Technologies®, 7890B (Alemania).
- Cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) (Hewlett-Packard® 1050, CA, USA).
- Balanza analítica, Gram precisión, ST 220S, max 220g, d= 0.1mg
- Agitador magnético (CAT, modelo M6, Alemania).
- Centrífuga (Hettich®, rotofox 32, Alemania)
- Vórtex (CAT, modelo VM2, Alemania)

## 3.5 MÉTODOS

### 3.5.1 Métodos de análisis

#### a. Análisis de calidad

##### - Determinación del grado de acidez

El índice de acidez se define como el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos libres de 1g de muestra, mientras que el grado de acidez se expresa en porcentaje de ácido oleico libre. La determinación de los ácidos libres se realizó siguiendo la metodología oficial AOAC ISO 660:1996, UNE. Se utilizaron 20 g de la muestra de aceite y se añadió 50 ml de una mezcla de solventes (etanol eter dietílico 1:1 v/v), luego se realizó la titulación con una solución de 0,1 M KOH en etanol. Su medida se realizó volumétricamente. Los resultados fueron expresados como índice de acidez en porcentaje de ácido oleico.

$$(\%) \text{ Índice de acidez} = V \times N \times FW / 10 \times P$$

Donde: V es el volumen gastado de KOH expresado en mL, N es La normalidad, FW es el peso formula del ácido oleico (282) y P es el peso de aceite en gramos.

##### - Índice de peróxidos

Siguiendo los lineamientos del método AOAC-90 965-33, primero se pesaron dos gramos de la muestra de aceite, luego se añadieron 24 ml de solución 1:3 cloroformo-ácido acético, posteriormente se añadieron 0,4 ml de solución yoduro de potasio y 24 ml de agua destilada, se valoró la solución de tiosulfato de sodio con permanganato de potasio al 0,01 N y se continuó con la titulación hasta que desapareció el color azul. Se calculó el índice de peróxido y el resultado arrojó mili equivalentes de oxígeno activo por kilogramos de grasa. Simultáneamente se realizó un blanco realizando el mismo procedimiento con agua. Se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo:

$$IP = (V - V') \times N \times 1000 / P$$

Donde IP es el índice de peróxido, V son los mililitros de solución valorada de tiosulfato de sodio empleados en el ensayo, V' son los mililitros de solución valorada de tiosulfato de sodio consumidos en el blanco, N es la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio y P es el peso en gramos de la muestra.

#### - **Dienos y trienos conjugados**

La determinación de dienos y trienos conjugados en muestras de aceite se determinó utilizando los métodos Oficiales de la Unión Europea (2015). Se pesó una cantidad de 0,05g de muestra de aceite en un matraz volumétrico de 10 ml y se completó con isooctano. Como blanco se utilizó una cubeta cubierta con isooctano. Inmediatamente después, los espectros de absorción UV se registraron entre 200 y 300 nm. Los valores de  $K_{232}$  y  $K_{270}$  se calcularon a partir de las absorbancias a 232 y 270 respectivamente.

Este método implica la determinación de la absorbancia a 232, 266, 270 y 274 nm y la determinación de la variación de la extinción específica ( $\Delta K$ ) como se define en las siguientes ecuaciones:

$$K_{\lambda} = \text{ABS}_{\lambda}/c * L$$
$$\Delta K = K_{270} - [(K_{266} + K_{274}) / 2]$$

Donde:

c, es la concentración del aceite de oliva (g/100mL)

L, es la longitud de paso óptico (cm)

K, es el coeficiente de extinción [100mL/g-cm]

Se utilizaron los límites como referencia que se muestran en el Anexo 1.

#### - **Índice de yodo**

El índice yodo se calculó según lo propuesto por Maestri (1998) mediante los porcentajes de los ácidos grasos utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{IY} = (\% \text{ ac. Palmitoléico} \times 1,001) + (\% \text{ ac. Oléico} \times 0,889) + (\% \text{ ac. Linoléico} \times 1,814) + (\% \text{ ac. Linolénico} \times 2$$



## **b. Análisis de color y pigmentos**

### **- Determinación de color**

Se determinó el color mediante las mediciones espectrofotométricas con el uso de un espectrofotómetro UV visible Cary 8454 marca Agilent. Las mediciones se tomaron en un espectro entre 380-770nm con intervalos constantes ( $\Delta\lambda = 2 \text{ nm}$ ), utilizando celdas de 2 mm de cuarzo y hexano como patrón de referencia. Los parámetros CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ , y  $h_{ab}$ ) fueron determinados utilizando el software CromaLab® siguiendo las recomendaciones de la Commission Internationale de L'Eclairage (CIE 2004) (Heredia et al. 2004).

### **- Determinación de carotenoides y clorofilas**

El color de los aceites vegetales se explica a partir de clorofilas y carotenoides que tradicionalmente se determinan mediante técnicas de cromatografía líquida con detector de ultravioleta-visible (HPLC-DAD) (Lazzerini y Domenici 2017). Por otro lado, las técnicas de espectrofotometría de absorción UV-vis han sido ampliamente utilizadas para evaluar el contenido de carotenoides y el total de derivados de clorofilas de los valores de absorbancia obtenidos de las mediciones de los aceites vegetales (Borello y Domenici 2019).

Antes de las mediciones de absorbancia, todas las muestras fueron previamente centrifugadas por 30 min a 10000 rpm (centrifuga 5424R, Eppendorf, AG, Alemania) para minimizar la absorción de la luz debido a los materiales en suspensión. Los valores de absorbancia usadas en este análisis de los espectros de los aceites vegetales (aceite de sacha inchi, aceite de oliva y aceite de ajonjolí) corresponden a espectros registrados en una celda de vidrio de 5,0 mm de paso óptico. El contenido de clorofilas y carotenoides fue determinado mediante medidas espectrofotométricas (Hewlett-Packard 8452, Palo Alto, CA, USA), el contenido de clorofilas fue expresado en términos de este compuesto, utilizando un coeficiente de extinción de 613 (determinado en una disolución diluida de la clorofila en

ciclohexano) a una longitud de onda de 670 nm. El contenido de carotenoides fue expresado en términos de luteína con un coeficiente de extinción de 2000 a una longitud de onda de 470 nm (Moyano et al. 2008). Una vez obtenido los espectros de absorción, el contenido de clorofilas y carotenoides se calcularon a partir de los valores de absorbancia de las longitudes de onda mencionadas y expresadas en miligramos de pigmento por kg de aceite (mg/kg de aceite), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{clorofilas } \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{A_{670} * 10^6}{613 * 100 * L}$$

$$\text{carotenoides } \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{A_{470} * 10^6}{2000 * 100 * L}$$

Dónde  $L$  es longitud de paso óptico = 0.5 cm

### c. Métodos cromatográficos

#### - Perfil de ácidos grasos

Para el análisis de ácidos grasos se utilizó cromatografía de gases. La elución se produjo por el flujo de una fase móvil de gas inerte. Se procedió a la obtención de los éteres metílicos FAME (Fatty Acid methyl esters) utilizando un método en frío, que consiste en la formación de los ésteres por transesterificación del aceite (100mg) con una solución metanólica (200uL) de KOH 2N. Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies 7890 equipado con columna capilar de sílice fundida SP-2380 (60m X 0.25mm x 0.20um), inyección mediante split y sistema automático. Se utilizó como gas eluyente hidrógeno a un flujo de 1 mL/min. La temperatura del inyector y detector fue 250°C. Se inyectó 1 uL de disolución de esteres metílicos (Norma UNE-EN ISO 1996).

Para la transformación del % de área en moles para todos los ácidos grasos se consideró: moles del ácido graso= % área P/PM del ácido graso, donde PM es el peso molecular y para la normalización de moles de ácidos grasos a % moles,  $P = \text{moles } P * 100 / \text{moles}(P+S+Po+O+L+Ln)$ , lo mismo para el resto de los ácidos grasos. La identificación de los ácidos grasos se realizó por medio de los tiempos de retención de los

patrones correspondientes. En el Cuadro 5 se muestra los pesos moleculares y tiempos de retención utilizados

**Cuadro 5: Peso molecular (PM) y tiempo de retención (tR) de los ácidos grasos**

| Ácido graso            | PM     | t <sub>R</sub> (min) |
|------------------------|--------|----------------------|
| C16:0 Palmitico        | 256,40 | 22,38                |
| C16:1 Palmitoleico     | 254,60 | 23,24                |
| C16:1 Palmitoleico     | 254,60 | 23,41                |
| C17:0 Margarico        | 270,00 | 23,98                |
| C17:1 Margaroleico     | 268,43 | 24,99                |
| C18:0 Stearico         | 284,50 | 25,67                |
| C18:1 Oleico           | 282,50 | 26,73                |
| C18:1 Oleico           | 282,50 | 26,78                |
| C18:2 Linoleico        | 280,40 | 27,92                |
| C20:0 Arachidico       | 312,50 | 28,63                |
| C18:3 Gamma Linolenico | 278,40 | 28,86                |
| C18:3 Alpha-linolenico | 278,40 | 29,42                |
| C20:1 Eicosenoico      | 310,51 | 29,51                |
| C22:0 Behenico         | 341,00 | 31,45                |

FUENTE: Mataix (2004).

#### - Perfil de tocoferoles

La cuantificación de tocoferoles se llevó a cabo siguiendo el método estándar IUPAC (1992). Esta técnica se basa en la separación, la cual permite separar físicamente los distintos componentes de una solución por la adsorción selectiva de los constituyentes de una mezcla. Se utilizó un HPLC con detección de fluorescencia (Hewlett-Packard 1050, CA, USA). La separación de los componentes se realizó con columna de Superspher Si 60 de 4µm, 25cm x 4mm (Merk). La fase móvil empleada para la separación fue una mezcla de 2-propanol en hexano (0,5:99,5 v/v) a un flujo de 1 mL/min, con un volumen de inyección de 20 µL. El detector de fluorescencia (Shimadzu RF 535) tuvo una longitud de onda de excitación de 290 nm y una longitud de onda de emisión de 330 nm. La identificación de los tocoferoles

se realizó por medio de los tiempos de retención de los patrones correspondientes. Los resultados fueron expresados en (mg/kg) de aceite.

Para el cálculo del contenido de tocoferoles se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Ppm (mg/kg) tocoferol} = \frac{\text{área tocoferol} \times \text{concentración patrón (}\mu\text{g/mL)}}{\text{concentración muestra (g/ml)}}$$

#### **d. Compuestos fenólicos**

##### **- Polifenoles totales:**

El contenido de polifenoles totales fue determinado de acuerdo con el procedimiento descrito por Prata et al. (2018) con algunos cambios. Se tomó 50 mg de aceite fue diluida con 450  $\mu\text{L}$  de benceno, seguidamente la mezcla fue agitada vigorosamente con vortex y luego mantenida en reposo. Después se tomó 100  $\mu\text{L}$  de la última mezcla y se adiciono 750  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu (0.2 N), seguidamente la reacción fue agitada durante 5 minutos. Luego se añadió 750  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio (7.5%) y la reacción final se dejó reaccionar durante toda la noche a temperatura ambiente y las lecturas de absorbancia se leyeron a 725 nm. Para propósitos de cuantificación, una curva estándar de ácido gálico (Anexo 40) fue utilizada para calcular la concentración de polifenoles totales en la muestra, se realizó de la siguiente manera, se midieron 125  $\mu\text{L}$  de la solución patrón de ácido gálico, y 125  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu; se dejó reaccionar por 6 minutos y se agregaron 1,25 mL de una solución de carbonato de sodio al 7 % (p/v) y se dejó reposar por 90 minutos en condiciones de laboratorio. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente/kg de muestra.

e. **Índices nutricionales**

- **Índice de aterogenicidad:**

Se determinó a partir de la composición de ácidos grasos mediante la siguiente fórmula.

$$IA = \frac{(C12:0 + 4 * C14:0 + C16:0)}{(\Sigma MUFA_s + \Sigma PUFA_s)}$$

Dónde:

C12:0: ácido laurico

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

$\Sigma MUFA_s$ : sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados

$\Sigma PUFA_s$ : sumatoria de ácidos grasos poliinsaturado.

- **Índice de trombogenicidad:**

Se determinó a partir de la composición de ácidos grasos mediante la siguiente fórmula:

$$IT = \frac{[(C14:0 + C16:0 + C18:0)]}{(0,5 * \Sigma MUFA_s + 0,5 * \Sigma PUFA_{n6} + 3 * \Sigma PUFA_{n3} + (n3/n6))}$$

Dónde:

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

C18:0: ácido esteárico

$\Sigma MUFA_s$ : sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados

$\Sigma PUFA_{n6}$ : sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados omega 6

$\Sigma PUFA_{n3}$ : sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados omega 3

- **El índice hipo/hipercolesterolémico (h/H):**

Se determinó a partir de la composición de ácidos grasos mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{h}{H} = \frac{(C18:1 + C18:2 + C18:3 + C20:3 + C20:4 + C20:5 + C22:4 + C22:6)}{(C14:0 + C16:0)}$$

Dónde:

C18:1: ácido oleico

C18:2: ácido linoleico

C18:3: ácido linolénico

C20:4: ácido araquidónico

C20:5: ácido eicosapentaenoico

C22:6: ácido docosahexaenoico

C14:0: ácido mirístico

C16:0: ácido palmítico

### **3.5.2 Análisis de resultados**

Los datos recopilados fueron tabulados, analizados y comparados con el Reglamento de la Comunidad Europea 2568-2015 para las muestras de aceite de oliva, la Norma técnica peruana 2018 para las muestras de aceite de sachá inchi y la Norma Codex para aceites vegetales 210-1991 para las muestras de aceite ajonjolí.

### **3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Todos los análisis fueron realizados por triplicado determinándose de ellos la media y la desviación estándar. Las medias de los resultados finales fueron evaluadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía a un nivel de significancia del 95% ( $p < 0,05$ ) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tres tipos de aceites, seguidamente, se aplicó la prueba de diferencias de medias de Duncan al 95% de confianza ( $p < 0,05$ ). El procesamiento de los datos se realizó utilizando un software estadístico XLSTAT (versión libre 2019.1, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA).

Un análisis de componentes principales (PCA) fue el método quimiométrico utilizado para la discriminación de las muestras. Para ello se utilizó el software STATISTICA (Versión 8.0, StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Finalmente, se procedió a realizar una prueba T student en las muestras de aceite de oliva para determinar las variables que tenían diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los dos grupos formados.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES VEGETALES EXTRA VIRGEN

En el Cuadro 6 se muestran los parámetros de calidad de las muestras de aceites de oliva virgen extra . Como se puede observar todas cumplen con el parámetro de calidad de acidez ( $\leq 0,8\%$ , expresado como % de ácido oleico) y con el índice de peróxidos ( $\leq 20\text{meq O}_2/\text{kg}$ ). Los peróxidos e hidroperóxidos son compuestos relativamente inestables y se transforman progresivamente en aldehídos y cetonas, compuestos responsables de sabores y aromas desfavorables para el aceite (Allalouts et al. 2009). Todas las muestras de aceite de oliva se encuentran dentro del rango permitido para aceites de oliva virgen extra , indicando una oxidación primaria y tendencia al enranciamiento mínimas. Cuando un aceite posee alto índice de acidez apunta al uso de materia prima de baja calidad y mal manejo o almacenamiento, por lo que no se recomienda su consumo, en el presente estudio no se evidenciaron resultados que demuestran baja calidad de la materia prima. Sin embargo, Rondanini et al. (2014) mediante un estudio de los cultivos de olivo en tres suelos diferentes confirmó que la calidad del aceite de oliva puede ser bastante diferente, así como sus propiedades físico-químicas dependiendo del clima y lugar donde se cultive el fruto.

De acuerdo a las medidas de absorbancia al ultravioleta que están relacionadas con el estado oxidativo de los aceites (presencia de Dienos, trienos y  $\Delta K$ ) (Dag et al. 2011), las muestras O01, O03, O04, O05, O06, O07, O10, O11, O16 no cumplen con este parámetro de calidad. Los aceites de oliva extra virgen deben tener un coeficiente de extinción a 232 y 270 nm, menor o igual a 2,50 y 0,22, respectivamente, y un  $\Delta K \leq 0,01$ . El  $K_{232}$ , es una medida espectrofotométrica realizada a una longitud de onda de 232 nm, y se utiliza, junto con el índice



de peróxidos, como medida de la oxidación primaria del aceite. A esta longitud de onda absorben los dienos conjugados, estos compuestos se forman debido a un cambio en la configuración de los dobles enlaces que se producen durante la formación de radicales peroxidados e hidroperoxidados.

Los trienos conjugados absorben a 270 nm por lo que el  $K_{270}$  indica el estado de oxidación secundaria del aceite. Los dienos y trienos conjugados, formados durante la refinación o blanqueado del aceite también absorben a 270nm, por lo que la alta absorbancia a 270nm está relacionada con la oxidación del aceite, con el proceso de refinación o con ambas cosas a la vez. Los productos resultantes de la oxidación secundaria del aceite (aldehídos y cetonas) absorben también a longitudes de onda de 266, 270 y 274 nm (Berlitz 1999). El coeficiente  $\Delta K$  tiene en cuenta las absorbancias a estas longitudes de onda, estando por tanto relacionado con la oxidación secundaria del aceite. Valores bajos de los distintos parámetros espectrofotométricos corresponden a aceites de buena calidad (Paz y Molero 2000).

**Cuadro 6: Parámetros de calidad en el aceite de oliva extra virgen comercial**

| Muestra      | Índice de acidez (%) | Dienos (K <sub>232</sub> ) | Trienos (K <sub>270</sub> ) | ΔK               | Peróxidos (meqO <sub>2</sub> /k) | Índice de Yodo (%) |
|--------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|--------------------|
| O 01         | 0,67± 0,05           | 1,98±0,03                  | 0,15±0,01                   | 0,02±0,02        | 5,42±0,15                        | 109,18             |
| O 02         | 0,45± 0,07           | 2,14±0,25                  | 0,17±0,01                   | 0,01±0,02        | 2,33±0,00                        | 93,33              |
| O 03         | 0,23± 0,03           | 2,25±0,13                  | 0,70±0,03                   | 0,09±0,05        | 1,04±0,02                        | 95,15              |
| O 04         | 0,77± 0,02           | 2,42±0,05                  | 0,20±0,02                   | 0,05±0,01        | 4,0±0,03                         | 110,37             |
| O 05         | 0,40±0,01            | 2,70±0,04                  | 0,68±0,02                   | 0,09±0,00        | 2,34±0,07                        | 123,32             |
| O 06         | 0,36±0,00            | 2,56±0,15                  | 0,50±0,01                   | 0,07±0,03        | 2,70±0,03                        | 105,99             |
| O 07         | 0,15±0,02            | 1,69±0,07                  | 0,18±0,00                   | 0,04±0,00        | 1,60±0,01                        | 91,56              |
| O 08         | 0,23±0,04            | 2,26±0,04                  | 0,14±0,01                   | 0,01±0,00        | 2,71±0,04                        | 93,57              |
| O 09         | 0,25±0,00            | 1,58±0,59                  | 0,14±0,01                   | -0,04±0,00       | 1,58±0,01                        | 92,76              |
| O 10         | 0,25±0,04            | 3,01±0,05                  | 0,28±0,00                   | 0,00±0,02        | 5,86±0,01                        | 93,65              |
| O 11         | 0,35±0,02            | 2,91±0,00                  | 0,18±0,01                   | -0,03±0,01       | 1,74±2,02                        | 105,89             |
| O 12         | 0,15±0,02            | 1,79±0,27                  | 0,20±0,00                   | -0,00±0,02       | 1,84±0,02                        | 92,99              |
| O 13         | 0,18±0,02            | 2,03±0,04                  | 0,20±0,00                   | -0,05±0,01       | 2,45±0,01                        | 94,24              |
| O 14         | 0,19±0,04            | 2,25±0,03                  | 0,14±0,00                   | -0,02±0,04       | 2,14±0,03                        | 94,77              |
| O 15         | 0,17±0,00            | 1,97±0,14                  | 0,11±0,01                   | -0,02±0,02       | 1,71±0,00                        | 93,26              |
| O 16         | 0,73±0,01            | 2,84±0,33                  | 0,21±0,00                   | -0,02±0,01       | 2,20±0,00                        | 109,80             |
| O 17         | 0,12±0,02            | 1,88±0,06                  | 0,13±0,01                   | -0,02±0,00       | 1,19±0,04                        | 92,43              |
| O 18         | 0,52±0,01            | 2,10±0,27                  | 0,17±0,01                   | -0,02±0,01       | 3,04±0,01                        | 109,87             |
| O 19         | 0,14±0,00            | 1,96±0,06                  | 0,06±0,00                   | 0,04±0,02        | 2,02±0,03                        | 90,92              |
| O 20         | 0,19±0,04            | 1,96±0,09                  | 0,08±0,01                   | -0,01±0,02       | 1,95±0,00                        | 93,50              |
| <b>MEDIA</b> | <b>0,33±0,20</b>     | <b>2,21±0,41</b>           | <b>0,20±0,18</b>            | <b>0,01±0,04</b> | <b>2,49±1,26</b>                 | <b>99,33±9,1</b>   |
| <b>CEE*</b>  | <b>&lt;=0,8</b>      | <b>&lt;=2,5</b>            | <b>&lt;=0,22</b>            | <b>&lt;=0,01</b> | <b>&lt;=20</b>                   | <b>-</b>           |

\* Reglamento de la Comunidad Europea 2568-2015

En el cuadro 7 se puede observar los resultados de los parámetros de calidad para las muestras de aceite de sacha inchi. El índice de acidez y los peróxidos se encuentran en rangos de 0,14 - 0,24 (% de ácido linolénico) y 0,23-1,96 (meq O<sub>2</sub>/kg), respectivamente. De acuerdo con los parámetros de la Norma Técnica peruana (NTP) un índice de acidez máximo de 1% para el aceite extra virgen y 2% para aceite virgen y 10 meq O<sub>2</sub>/kg de peróxidos. Podemos clasificar el 100% de las muestras de sacha inchi como aceite extra virgen. Por otro lado, existen muy pocas publicaciones respecto a las medidas de K<sub>232</sub> y K<sub>270</sub> para el aceite de sacha inchi y la NTP no establece límites.

Por otro lado, el K<sub>232</sub> para las muestras de sacha inchi se encuentra entre 1,9 – 3,28 y para el K<sub>270</sub> entre 0,12 -1,27. Según Ramos-Escudero et al. (2019) el aceite de sacha inchi tiene un valor de K<sub>232</sub> de 2,98 y de K<sub>270</sub> de 0,30 , lo cual se encuentra dentro de los rangos encontrados en el presente estudio. Por lo tanto, al tener las muestras un bajo contenido de ácidos grasos libres, se puede inferir que la materia prima ha tenido un buen tratamiento fitosanitario y manejo post-cosecha.

**Cuadro 7: Parámetros de calidad en aceite de sacha inchi virgen extra comercial**

| Muestra | Índice de acidez (%) | Dienos (K <sub>232</sub> ) | Trienos (K <sub>270</sub> ) | ΔK        | Peróxidos (meqO <sub>2</sub> /k) | Índice de Yodo (%) |
|---------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------------|--------------------|
| S 21    | 0,42±0,01            | 2,90±0,07                  | 0,37±0,02                   | 0,00±0,01 | 1,96±0,47                        | 196,78             |
| S 22    | 0,14±0,00            | 3,21±0,07                  | 1,10±0,02                   | 0,14±0,00 | 0,23±0,01                        | 152,81             |
| S 23    | 0,21±0,02            | 2,63±0,05                  | 0,80±0,01                   | 0,10±0,02 | 0,52±0,01                        | 178,49             |
| S 24    | 0,2±0,00             | 3,28±0,00                  | 1,27±0,02                   | 0,18±0,01 | 0,35±0,01                        | 178,60             |
| S 25    | 0,26±0,02            | 1,90±0,03                  | 0,12±0,01                   | 0,01±0,01 | 1,22±0,10                        | 207,52             |
| MEDIA   | 0,24±0,11            | 2,78±0,56                  | 0,73±0,48                   | 0,08±0,08 | 0,86±0,73                        | 182,84±2           |
| NTP*    | 1-2 %                | -                          | -                           | -         | <10                              | 182-199            |

\*Norma técnica peruana 2018

En el caso de las muestras de aceite de ajonjolí cuyos resultados se muestran en el Cuadro 8, se presenta una media de 0,78 % en acidez, esto es bastante diferente a lo reportado por Tiwari et al. (2014), de 3,72 % de acidez en aceites de ajonjolí.

Un índice de acidez muy bajo corresponde a un aceite de alta calidad, valores alrededor de 0,1% indican que el aceite procede de frutos sanos y ha sido elaborado en condiciones óptimas, mientras que un índice de acidez alto indica anomalías en el estado de los frutos, en el tratamiento y/o en la conservación (Ramos- Escudero et al. 2019).

**Cuadro 8: Parámetros de calidad en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | Índice de acidez(%) | Dienos (K <sub>232</sub> ) | Trienos (K <sub>270</sub> ) | $\Delta K$ | Peróxidos (meqO <sub>2</sub> /g) | Índice de Yodo (%) |
|---------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|--------------------|
| A 26    | 0,32±0,02           | 3,31±0,00                  | 2,52±0,01                   | 0,09±0,03  | 1,03±0,01                        | 118,68             |
| A 27    | 1,97±0,03           | 3,13±0,06                  | 1,48±0,05                   | 0,03±0,05  | 0,38±0,02                        | 104,08             |
| A 28    | 0,06±0,00           | 3,20±0,00                  | 1,81±0,02                   | 0,07±0,03  | 0,09±0,01                        | 134,04             |
| MEDIA   | 0,78±1,04           | 3,21±0,09                  | 1,94±0,53                   | 0,05±0,06  | 0,50±0,48                        | 118,93±1           |
| Codex*  | -                   | -                          | -                           | -          | -                                | 104-120            |

\*Norma Codex para aceites vegetales 210-1991

Dentro de los parámetros de calidad se analizó también el índice de Iodo (IY), está es una determinación directa de la presencia de dobles enlaces en los ácidos grasos del aceite (Dag et al. 2011). La NTP para el aceite de sacha inchi establece un IY entre 182 – 199, mientras que el CODEX un rango de 75 – 94, para el aceite de oliva y 104 -120, para ajonjolí. El IY es una propiedad química característica y puede ser utilizada como una medida de identificación y calidad (Zumbado 2002). Mientras más bajo es IY más alto es el grado de saturación de una grasa o aceite, es por ello por lo que el aceite de sacha inchi, que es rico en ácidos grasos poliinsaturados tuvo el mayor IY mientras que el aceite de oliva, que es rico en ácido monoinsaturado (oleico) tuvo el menor valor.

Para Benatmane et al. (2011) el IY es una propiedad química relacionada con la insaturación, con el índice de refracción y con la densidad: a mayor IY, mayor índice de refracción y mayor densidad. Se puede observar que la media del IY para las muestras de oliva fue 99,33% para los aceites de sacha inchi 182,84% y ajonjolí 118,9% debido al mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en los dos últimos.

Según el análisis bivariante se encontraron diferencias significativas (Cuadro 9) respecto a los dienos, trienos y peróxidos entre los aceites de oliva, sacha inchi y ajonjolí. Se puede observar una diferencia significativa respecto a la mayor presencia de peróxidos en el aceite de oliva. Sin embargo, estos valores están muy por debajo de los rangos permitidos para que el aceite sea apto para consumo humano (Allalouts et al. 2009). Se observaron también diferencias significativas respecto al contenido de dienos y trienos en las tres especies de aceites, esto pueden generarse por un mal tratamiento de la materia prima, por exposición a la luz o al calor, por envasado no apropiado, etc. (Dag et al. 2011).

**Cuadro 9: Diferencias de los parámetros de calidad según tipo de aceite virgen extra: oliva, sacha inchi y ajonjolí.**

| Parámetro de calidad | Oliva                     | Sacha Inchi                 | Ajonjolí                    |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Índice de acidez     | 0,33 ± 0,20 <sup>a</sup>  | 0,24 ± 0,11 <sup>a</sup>    | 0,78 ± 1,04 <sup>a</sup>    |
| ΔK                   | 0,01 ± 0,04 <sup>a</sup>  | 0,08 ± 0,08 <sup>a</sup>    | 0,05 ± 0,06 <sup>a</sup>    |
| Dienos               | 2,21 ± 0,41 <sup>a</sup>  | 2,78 ± 0,56 <sup>a</sup>    | 3,21 ± 0,09 <sup>b</sup>    |
| Trienos              | 0,23 ± 0,18 <sup>c</sup>  | 0,73 ± 0,48 <sup>b</sup>    | 1,94 ± 0,53 <sup>a</sup>    |
| Peróxidos            | 2,49 ± 1,26 <sup>a</sup>  | 0,85 ± 0,73 <sup>b</sup>    | 0,50 ± 0,48 <sup>b</sup>    |
| Índice de yodo       | 99,33 ± 9,18 <sup>a</sup> | 182,84 ± 20,87 <sup>a</sup> | 118,93 ± 14,98 <sup>a</sup> |

\*Diferencias significativa  $p < 0,05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceite.

#### 4.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS CROMÁTICOS

El color de los aceites se debe a la presencia de carotenoides o pigmentos de clorofila, que imparten un tono verdoso a los aceites vírgenes. Algunos aceites crudos pueden tener una pigmentación intensa causada por daños de la materia prima en el campo, almacenamiento inadecuado o manejo defectuoso durante la trituración o extracción (Cui et al. 2002). En los Cuadros 10, 11 y 12 se muestra la medición del color de los aceites vegetales extra virgen de oliva, sacha inchi y ajonjolí, respectivamente, dado por sus coordenadas escalares CIELAB (a \* color entre magenta y verde y b \* color entre amarillo y azul) y el parámetro de color relacionado con las características psicofísicas del color, que corresponden a las

coordenadas angulares de la claridad de dicho espacio ( $L^*$ ), croma ( $C^*_{ab}$ ) y ángulo de matiz ( $h_{ab}$ ), contenido de carotenoides y clorofilas. Es interesante señalar que los valores de croma fueron idénticos a los correspondientes a  $b^*$  en las tres especies de aceites lo cual es consecuencia de los valores muy bajos de  $a^*$  (entre  $-4,00$  y  $-9,64$ ). Esto también se ha observado en los aceites de oliva virgen (Moyano et al. 2008).

En cuanto a las muestras de aceite de oliva (Cuadro 10), estos tuvieron una media de luminosidad  $L$  de  $68,04$ , que fue el menor valor de los tres tipos de aceite, por tanto, es el más oscuro, en contraste al aceite de sacha inchi que tuvo un  $L$ :  $83,63$  es decir y fue el más claro. En términos generales, el aceite de Sacha inchi mostró valores altos de  $L^*$  y valores bajos de croma, y estos datos indican que las muestras fueron de amarillo muy claro a casi transparentes (Ramos-Escudero et al. 2019).

Además, los valores de  $L^*$  obtenidos en este estudio fueron superiores a los publicados por Gutiérrez et al. (2017) estos valores estaban entre  $70,51$  a  $72,26$  unidades, para aceites de sacha inchi. Estas variaciones podrían deberse a la frescura del aceite, ya que los aceites investigados por estos autores corresponden a aceites no comerciales.

**Cuadro 10: Parámetros cromáticos en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial**

| Muestra      | Pigmentos           |                   |               | Color |       |        |                  |                 |
|--------------|---------------------|-------------------|---------------|-------|-------|--------|------------------|-----------------|
|              | Clorofilas<br>mg/kg | Caroteno<br>mg/kg | $\Sigma$ pigm | L     | a*    | b*     | C* <sub>ab</sub> | h <sub>ab</sub> |
| O 01         | 6,00±0,3            | 3,33±0,2          | 9,33          | 77,60 | -4,00 | 60,14  | 60,27            | 93,80           |
| O 02         | 10,35±0,1           | 7,32±0,1          | 17,68         | 73,65 | 6,10  | 102,36 | 102,55           | 86,59           |
| O 03         | 0,51±0,1            | 0,85±0,0          | 1,36          | 61,90 | -0,06 | 16,09  | 16,10            | 90,20           |
| O 04         | 3,06±0,1            | 2,28±0,1          | 5,33          | 88,69 | -1,94 | 47,36  | 47,40            | 92,35           |
| O 05         | 6,24±0,1            | 2,88±0,0          | 9,13          | 80,73 | 0,06  | 65,24  | 65,24            | 89,94           |
| O 06         | 4,96±0,0            | 2,65±0,0          | 7,61          | 78,33 | -0,79 | 59,55  | 59,56            | 90,76           |
| O 07         | 16,26±0,1           | 7,07±0,0          | 23,34         | 72,08 | 5,32  | 101,01 | 101,15           | 86,99           |
| O 08         | 15,28±0,0           | 7,98±0,0          | 23,26         | 68,44 | 5,93  | 99,53  | 99,70            | 86,59           |
| O 09         | 8,14±0,1            | 7,10±0,1          | 15,24         | 34,06 | 1,12  | 50,78  | 50,80            | 88,73           |
| O 10         | 7,61±0,0            | 5,45±0,1          | 13,06         | 52,22 | 1,14  | 64,84  | 64,85            | 89,00           |
| O 11         | 6,31±0,1            | 3,12±0,0          | 9,43          | 90,21 | 1,25  | 76,04  | 76,05            | 89,06           |
| O 12         | 9,10±0,1            | 5,56±0,0          | 14,67         | 67,24 | 4,69  | 86,04  | 86,16            | 86,88           |
| O 13         | 7,52±0,0            | 5,22±0,0          | 12,73         | 76,70 | 4,14  | 85,65  | 85,75            | 87,24           |
| O 14         | 12,28±1,1           | 7,82±0,1          | 20,10         | 66,45 | 7,17  | 95,71  | 95,97            | 85,71           |
| O 15         | 10,31±0,2           | 6,94±0,0          | 17,25         | 70,00 | 9,64  | 97,77  | 98,24            | 84,37           |
| O 16         | 11,40±0,0           | 7,44±0,0          | 18,25         | 60,10 | 5,35  | 77,67  | 88,25            | 86,67           |
| O 17         | 6,83±0,06           | 7,14±0,1          | 13,97         | 49,97 | 3,35  | 73,98  | 74,06            | 87,41           |
| O 18         | 3,99±0,08           | 2,16±0,0          | 6,15          | 78,83 | -0,85 | 51,17  | 51,17            | 90,95           |
| O 19         | 7,97±0,03           | 6,56±0,3          | 14,527        | 76,33 | 4,33  | 98,73  | 98,83            | 87,49           |
| O 20         | 11,66±0,1           | 6,96±0,0          | 18,622        | 54,51 | 8,02  | 80,37  | 80,77            | 84,30           |
| <b>MEDIA</b> | 7,76                | 5,04              | 12,80         | 68,04 | 2,74  | 72,00  | 72,12            | 88,41           |

Los aceites de sachá inchi (Cuadro 11) tienen sus coordenadas entre rojo y verde ( $a^*$ ) y entre amarillo y azul ( $b^*$ ), con un valor  $a^*$ : 0,38 y  $b^*$ : 26,10; por tanto, son de un amarillo dorado ligeramente verdoso, este valor concuerda con el color reportado por Gutiérrez et al. (2017) y esto se debe a que el aceite de sachá inchi se produce con semillas seleccionadas y se obtiene mediante la técnica de prensado en frío, por lo que mantiene algunos de los pigmentos presentes en sus semillas, las cuales son verdes cuando son tiernas y marrones una vez maduran.

Por otro lado, los aceites de Sachá inchi tuvieron valores bajos en cuanto al contenido de carotenoides y estuvieron comprendidos entre 0,20 a 1,09. Se encontraron valores mucho menores al reportado por Hamaker et al. (1992) quienes encontraron 8,0 mg/kg de carotenoides en el aceite de sachá inchi de la región San Martín. Mas bien coinciden con los valores de los aceites comerciales refinados de maíz (2,04), girasol (1,41), canola (1,62) y soja (0,38), ya que en el proceso de refinación las fracciones de este pigmento disminuyen (Giacomelli et al. 2006) porque se degradan y por lo tanto es necesario usar carotenoides sintéticos para cumplir con el requisito.

**Cuadro 11: Parámetros cromáticos en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial**

| Muestra | Pigmentos           |                    |               | L        | Color  |          |            |          |
|---------|---------------------|--------------------|---------------|----------|--------|----------|------------|----------|
|         | Clorofilas<br>mg/kg | Carotenos<br>mg/kg | $\Sigma$ pigm |          | $a^*$  | $b^*$    | $C^*_{ab}$ | $h_{ab}$ |
| S 21    | 0,60±0,00           | 1,09±0,00          | 1,69          | 76,87    | 2,55   | 34,32    | 34,42      | 85,75    |
| S 22    | 0,20 ±0,0           | 0,29±0,03          | 0,51          | 71,43    | 1,58   | 16,30    | 16,38      | 84,46    |
| S 23    | 0,32±0,03           | 0,84±0,01          | 1,16          | 98,13    | -2,20  | 27,89    | 27,97      | 94,50    |
| S 24    | 0,32±0,01           | 0,41±0,01          | 0,73          | 84,96    | 0,24   | 22,48    | 22,48      | 89,40    |
| S 25    | 0,25±0,02           | 0,98±0,01          | 1,23          | 86,78    | -0,28  | 29,51    | 29,51      | 90,54    |
| MEDIA   | 0,34±0,20           | 0,72±0,4           | 1,06±0,5      | 83,63±10 | 0,38±2 | 26,1±6,9 | 26,15±7    | 88,9±4,0 |



Respecto al contenido de pigmentos en los aceites de ajonjolí (Cuadro 12). Se encontró una sumatoria de pigmentos de 2,41, lo cual indica mayor contenido en comparación con los aceites de sachá inchi, pero menos contenido que las muestras de aceite de oliva. El contenido de carotenoides del aceite vegetal es un parámetro importante de calidad debido a su correlación con el color, que es un atributo básico para evaluar la calidad de los aceites. Los pigmentos carotenoides también están implicados en los mecanismos de autooxidación y fotooxidación (Minguez-Mosquera et al. 1990).

**Cuadro 12: Parámetros cromáticos en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | Pigmentos           |                    |        | Color     |          |           |                  |                 |
|---------|---------------------|--------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------------|-----------------|
|         | Clorofilas<br>mg/kg | Carotenos<br>mg/kg | Σpig   | L         | a*       | b*        | C* <sub>ab</sub> | h <sub>ab</sub> |
| A 26    | 0,94±0,0            | 2,78±0,0           | 3,72   | 72,49     | 5,18     | 59,08     | 59,30            | 84,99           |
| A 27    | 0,54±0,1            | 1,63±0,0           | 2,17   | 68,59     | 2,76     | 36,02     | 36,13            | 85,62           |
| A 28    | 0,45±0,1            | 0,91±0,0           | 1,35   | 89,16     | -1,14    | 28,73     | 28,75            | 92,27           |
| MEDIA   | 0,64 ±0,0           | 1,77±0,0           | 2,41±1 | 76,75±1,1 | 2,27±3,0 | 41,17±1,5 | 41,39±1,5        | 87,63±4,0       |

Respecto de los pigmentos, clorofilas y carotenos, se observaron diferencias significativas en los tres tipos de aceites (Cuadro 13). El aceite de oliva presentó un mayor contenido de clorofilas y carotenos en comparación con el aceite de sachá inchi y ajonjolí. El color del aceite de oliva virgen puede variar del dorado al verde oscuro, dependiendo de la variedad de aceituna empleada y su estado de madurez, pero ello no indica que su calidad sea mejor o menor (Cui et al. 2002). De acuerdo con los valores obtenidos, el aceite de oliva posee un color amarillo verdoso. El color verde se debe a que entre los componentes minoritarios del aceite de oliva virgen se encuentran colorantes como el β Caroteno (precursor del retinol o vitamina A) y la clorofila, la cual posee un comportamiento antioxidante si el aceite se conserva en un lugar oscuro (Cui et al. 2002).

**Cuadro 13: Diferencias de los parámetros de cromáticos según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.**

| Parámetro cromáticos | Oliva                     | Sacha Inchi              | Ajonjolí                 |
|----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Clorofilas           | 7,76 ± 4,19 <sup>a</sup>  | 0,34 ± 0,15 <sup>b</sup> | 0,64 ± 0,26 <sup>b</sup> |
| Carotenos            | 5,05 ± 2,31 <sup>a</sup>  | 0,72 ± 0,35 <sup>b</sup> | 1,77 ± 0,95 <sup>b</sup> |
| Σ pigmentos          | 12,81 ± 6,28 <sup>a</sup> | 1,06 ± 0,46 <sup>b</sup> | 2,41 ± 1,20 <sup>b</sup> |
| L                    | 83,63 <sup>a</sup>        | 76,74 <sup>a</sup>       | 68,04 <sup>a</sup>       |
| a*                   | 2,74 <sup>a</sup>         | 2,26 <sup>a</sup>        | 0,38 <sup>a</sup>        |
| b*                   | 72,00 <sup>a</sup>        | 41,27 <sup>b</sup>       | 26,10 <sup>b</sup>       |
| C* <sub>ab</sub>     | 72,12 <sup>a</sup>        | 41,39 <sup>b</sup>       | 26,15 <sup>b</sup>       |
| h <sub>ab</sub>      | 88,93 <sup>a</sup>        | 88,41 <sup>a</sup>       | 87,63 <sup>a</sup>       |

\*Diferencias significativa  $p < 0.05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceites.

### 4.3 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

#### 4.3.1 Determinación de perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos son componentes mayoritarios de los aceites vegetales. Se encontró que para los aceites de oliva (Cuadro 14) las muestras O01, O04, O05, O07, O08, O16, O18, O19 no cumplen con los estándares reglamentarios de composición nutricional. Cabe resaltar que el aceite de oliva se caracteriza por su composición en ácido graso oléico (C18:1) y se pueden observar valores muy inferiores en las muestras O04 y O05. Esto podría ser indicador de un problema de deterioro del aceite o posible mezcla con otras especies de aceites.

El aceite de oliva se diferencia de otros aceites vegetales por su alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados (Lozano et al. 2012). El ácido graso monoinsaturado mayoritario en el aceite de oliva es el oleico, cuya concentración generalmente varía entre 55% y 83 %, este tiene un doble enlace, por lo tanto, es mucho menos susceptible a la oxidación, alta estabilidad, y larga vida útil. Seguido por el ácido saturado palmítico que se encuentra entre un 9% y 15%.

**Cuadro 14: Ácidos grasos en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial**

| Muestra      | %MC14:0    | %MC16:0    | %MC16:1   | %MC17:0   | %MC17:1   | %MC18:0   | % MC18:1    | %MC18:2    | %MC20:0   | %MC18:3    | %MC22:0   |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|
| O 01         | 0,07±0,08  | 18,98±0,32 | 2,29±0,01 | 0,05±0,00 | 0,09±0,02 | 2,89±0,02 | 50,±0,12    | 23,10±0,13 | 0,47±0,00 | 1,1±0,12   | 0,12±0,01 |
| O 02         | 0,05±0,01  | 9,65±0,08  | 0,81±0,02 | 0,12±0,01 | 0,19±0,01 | 3,20±0,01 | 77,95±0,10  | 6,70±0,10  | 0,43±0,01 | 0,78±0,12  | 0,12±0,02 |
| O 03         | 0,02±0,00  | 13,51±0,12 | 1,03±0,00 | 0,10±0,00 | 0,15±0,02 | 3,39±0,01 | 71,69±0,18  | 8,87±0,18  | 0,54±0,03 | 0,63±0,10  | 0,07±0,00 |
| O 04         | 0,12±0,07  | 19,09±0,04 | 2,24±0,02 | 0,05±0,02 | 0,08±0,02 | 3,02±0,00 | 49,18±0,04  | 24,49±0,14 | 0,49±0,02 | 1,12±0,12  | 0,13±0,01 |
| O 05         | 0,04±0,02  | 15,32±0,14 | 1,02±0,02 | 0,07±0,01 | 0,07±0,00 | 3,41±0,03 | 42,32±0,05  | 33,61±0,13 | 0,50±0,04 | 3,42±0,06  | 0,22±0,00 |
| O 06         | 0,08±0,03  | 16,74±0,03 | 1,79±0,03 | 0,07±0,02 | 0,12±0,03 | 2,88±0,03 | 57,00±0,04  | 19,70±0,14 | 0,47±0,01 | 1,01±0,03  | 0,14±0,00 |
| O 07         | 0,13±0,01  | 10,58±0,06 | 0,89±0,00 | 0,05±0,01 | 0,09±0,04 | 3,52±0,02 | 78,32±0,04  | 5,20±0,10  | 0,41±0,02 | 0,67±0,09  | 0,14±0,00 |
| O 08         | 0,06±0,02  | 11,49±0,00 | 1,09±0,01 | 0,07±0,03 | 0,14±0,02 | 2,54±0,03 | 76,03±0,05  | 6,93±0,08  | 0,40±0,01 | 0,67±0,00  | 0,58±0,01 |
| O 09         | 0,05±0,03  | 9,040±0,30 | 0,90±0,01 | 0,10±0,00 | 0,17±0,00 | 3,28±0,02 | 78,84±0,5   | 6,34±0,09  | 0,42±0,02 | 0,75±0,02  | 0,11±0,02 |
| O 10         | 0,12±0,00  | 11,17±0,17 | 1,03±0,03 | 0,09±0,01 | 0,16±0,01 | 3,16±0,03 | 75,75±0,05  | 7,31±0,05  | 0,44±0,00 | 0,66±0,03  | 0,12±0,03 |
| O 11         | 0,07±0,01  | 17,37±0,18 | 1,73±0,04 | 0,05±0,02 | 0,08±0,03 | 2,84±0,04 | 56,92±0,3   | 19,34±0,20 | 0,47±0,03 | 1,01±0,04  | 0,12±0,03 |
| O 12         | 0,13±0,01  | 11,13±0,20 | 1,06±0,01 | 0,06±0,02 | 0,11±0,03 | 3,36±0,01 | 76,17±0,04  | 6,80±0,03  | 0,42±0,04 | 0,630±0,01 | 0,13±0,04 |
| O 13         | 0,06±0,08  | 10,08±0,19 | 1,14±0,03 | 0,11±0,03 | 0,27±0,00 | 1,87±0,00 | 78,27±0,5   | 7,12±0,14  | 0,39±0,01 | 0,57±0,01  | 0,13±0,01 |
| O 14         | 0,010±0,02 | 11,55±0,05 | 1,19±0,01 | 0,09±0,00 | 0,17±0,02 | 2,62±0,04 | 75,29±0,5   | 7,85±0,15  | 0,39±0,00 | 0,72±0,02  | 0,13±0,05 |
| O 15         | 0,01±0,00  | 9,35±0,25  | 0,97±0,03 | 0,09±0,01 | 0,15±0,00 | 3,13±0,02 | 78,31±0,2   | 6,62±0,13  | 0,45±0,00 | 0,81±0,01  | 0,13±0,03 |
| O 16         | 0,01±0,00  | 19,09±0,12 | 2,33±0,01 | 0,05±0,04 | 0,09±0,03 | 2,86±0,02 | 50,15±0,01  | 23,68±0,13 | 0,48±0,01 | 1,13±0,00  | 0,12±0,05 |
| O 17         | 0,10±0,01  | 8,39±0,08  | 0,56±0,03 | 0,20±0,00 | 0,28±0,03 | 3,39±0,02 | 79,74±0,01  | 6,02±0,12  | 0,43±0,02 | 0,78±0,00  | 0,11±0,01 |
| O 18         | 0,06±0,02  | 17,71±0,02 | 2,01±0,02 | 0,05±0,02 | 0,09±0,02 | 3,03±0,02 | 51,44±0,04  | 23,72±0,12 | 0,53±0,01 | 1,22±0,09  | 0,14±0,03 |
| O 19         | 0,10±0,03  | 9,92±0,05  | 1,03±0,00 | 0,04±0,03 | 0,08±0,00 | 3,45±0,00 | 79,71±0,12  | 4,43±0,12  | 0,40±0,01 | 0,74±0,10  | 0,10±0,04 |
| O 20         | 0,01±0,01  | 10,12±0,01 | 0,82±0,01 | 0,09±0,02 | 0,20±0,01 | 1,93±0,00 | 79,76±0,013 | 5,97±0,08  | 0,39±0,01 | 0,57±0,10  | 0,14±0,02 |
| <b>MEDIA</b> | 0,07       | 13,01      | 1,30      | 0,08      | 0,14      | 2,99      | 68,18       | 12,69      | 0,45      | 0,95       | 0,15      |
| <b>CEE*</b>  | <=0,05     | 7,5-20     | 0,3-5,5   | <=0,3     | <=0,3     | 0,5-5     | 55-83       | 3,5-21     | <=0,4     | <=1,0      | <=0,2     |

\* Reglamento de la Comunidad Europea 2568-201

En el caso de las muestras de aceite de sachá inchi se puede observar en Cuadro 15 que todas las muestras tienen al menos un ácido graso que no cumple con los estándares. Según el NTP (2018), se exige para el aceite de sachá inchi virgen extra un contenido total de ácidos grasos saturados (límite máximo del 7,5 %), ácidos grasos monoinsaturados (entre 8,2 % y 13,6 %) y ácidos grasos poliinsaturados (más del 80 %). El aceite de sachá inchi es reconocido por su alto contenido de ácido linolénico (C18:3) y en la presente investigación se encontró una media de 32.45%. Además, las muestras S23, S24 y S25 no cumplen con el requerimiento. Según los resultados encontrados en muestras de aceite de sachá inchi reportados por otros investigadores (Follegatti y Romero et al. 2009; Fanali et al. 2011; Maurer et al. 2012), el ácido oleico varió entre 8% y 10%, mientras que el ácido linoleico fluctuó entre 33% y 36 % y el ácido linolénico entre 44% y 50 %, valores superiores a los encontrados en este estudio. Esto se puede deber a que los ácidos grasos insaturados son mucho más susceptibles a la oxidación (Chirinos et al. 2015). Además, en el proceso de obtención del aceite de sachá inchi las semillas son sometidas a un proceso de tostado, donde se aplican altas temperaturas (>180°C). El propósito de este paso es eliminar humedad y sabores astringentes (Lozano et al. 2012).

Según el perfil de ácidos grasos de las muestras de aceite de ajonjolí que se muestra en el Cuadro 16, estas no cumplen con los requerimientos de ácidos grasos. Se encontró una media de ácido linoleico de 31.29% y según la Norma Codex debería tener un mayor contenido, Las muestras A26 y A27 contienen valores muy por debajo de omega-6. Este resultado difiere con lo reportado por Tiwari et al. (2014) que reportaron un valor de 42,36 % y Lozano et al., (2012) que encontraron un valor de 42,6% para ácido linoleico de aceites de ajonjolí. Si se analiza el ácido graso menos predominante, se encontró un 3,33 % de ácido  $\alpha$ -Linolénico (C18:3;  $\omega$ -3), cuyo contenido es significativamente mayor al reportado por Tiwari et al. (2014) que encontró un valor de 2,08%, que sobrepasa el rango indicado por el Codex Alimentarius de 0,2 – 0,7%, esto puede deberse a que los ácidos grasos insaturados pueden oxidarse durante los procesos industriales o por el almacenamiento, sin embargo, también podría tratarse de posibles mezclas con aceites de otras especies.

**Cuadro 15: Ácido grasos en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial**

| Muestra | % M<br>C14:0 | % M<br>C16:0 | % M<br>C16:1 | % M<br>C17:0 | % M<br>C17:1 | % M<br>C18:0 | % M<br>C18:1 | % M<br>C18:2 | % M<br>C20:0 | % M<br>C18:3 | % M<br>C22:0 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| S 21    | 0,02±0,00    | 6,06±0,00    | 0,28±0,01    | 0,08±0,00    | 0,06±0,00    | 3,04±0,05    | 14,99±0,18   | 30,43±0,22   | 0,37±0,04    | 44,64±0,60   | 0,03         |
| S 22    | 0,10±0,01    | 11,06±0,01   | 0,10±0,00    | 0,10±0,03    | 0,05±0,01    | 4,16±0,10    | 21,31±0,20   | 50,83±0,31   | 0,78±0,05    | 11,17±0,25   | 0,35         |
| S 23    | 0,07±0,02    | 7,56±0,02    | 0,10±0,02    | 0,09±0,04    | 0,05±0,00    | 3,51±0,12    | 16,46±0,13   | 42,86±0,45   | 0,41±0,00    | 28,69±0,13   | 0,20         |
| S 24    | 0,06±0,02    | 7,68±0,01    | 0,15±0,01    | 0,09±0,04    | 0,05±0,00    | 3,58±0,09    | 16,61±0,15   | 41,79±0,60   | 0,48±0,02    | 29,35±0,35   | 0,17         |
| S 25    | 0,02±0,00    | 3,84±0,01    | 0,06±0,01    | 0,09±0,03    | 0,04±0,00    | 2,99±0,18    | 9,78±0,20    | 34,44±0,25   | 0,31±0,01    | 48,41±0,56   | 0,02         |
| MEDIA   | 0,05         | 7,24         | 0,14         | 0,09         | 0,05         | 3,46         | 15,83        | 40,07        | 0,47         | 32,45        | 0,16         |
| NTP*    | -            | 3,7-4,4      | -            | -            | -            | 2,57-3,20    | >8,5         | >32          | <0.10        | >42          | -            |

\*Norma técnica peruana 2018

**Cuadro 16: Ácidos grasos en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | % M<br>C14:0 | % M<br>C16:0 | % M<br>C16:1 | % M<br>C17:0 | % M<br>C17:1 | % M<br>C18:0 | % M<br>C18:1 | % M<br>C18:2 | % M<br>C20:0 | % M<br>C18:3 | % M<br>C22:0 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A 26    | 0,18±0,00    | 16,98±0,25   | 0,30±0,01    | 0,11±0,01    | 0,08±0,01    | 4,93±0,18    | 44,62±0,50   | 24,46±0,13   | 1,47±0,05    | 6,43±0,02    | 0,45±0,03    |
| A 27    | 0,05±0,01    | 13,75±0,13   | 0,20±0,02    | 0,08±0,00    | 0,06±0,01    | 7,54±0,12    | 54,70±0,45   | 22,10±0,15   | 0,79±0,03    | 0,56±0,01    | 0,16±0,02    |
| A 28    | 0,05±0,02    | 10,45±0,12   | 0,13±0,01    | 0,07±0,03    | 0,05±0,02    | 4,95±0,09    | 33,17±0,25   | 47,30±0,10   | 0,57±0,02    | 3,01±0,02    | 0,23±0,01    |
| MEDIA   | 0,09         | 13,73        | 0,21         | 0,09         | 0,06         | 5,81         | 44,16        | 31,29        | 0,94         | 3,33         | 0,28         |
| Codex*  | 0,05-0,1     | 7,9-12       | 0,1-0,2      | 0,05-0,2     | 0,05-0,1     | 4,8-6,1      | 35,9-42,3    | 41,5-47,9    | 0,3-0,6      | 0,3-0,4      | 0,05-0,3     |

\*Norma Codex para aceites vegetales 210-199

Las variaciones en la composición de los ácidos grasos se atribuyen principalmente a la variable genética, a la zona de producción del aceite, donde los factores principales que afectan la composición son la latitud, las condiciones climáticas y el grado de madurez de la semilla (Barlitz 2019). Las diferencias significativas respecto a la composición de ácidos grasos según variedad de aceite se pueden ver en el Cuadro 17.

**Cuadro 17: Diferencias en el perfil de ácidos grasos según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.**

| Ácidos grasos | Oliva                      | Sacha Inchi                | Ajonjolí                   |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| % MC14:0      | 0,07 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 0,05 ± 0,03 <sup>a</sup>   | 7,24 ± 2,64 <sup>a</sup>   |
| % M C16:0     | 13,01 ± 3,81 <sup>a</sup>  | 7,24 ± 2,64 <sup>b</sup>   | 13,73 ± 3,26 <sup>a</sup>  |
| % M C16:1     | 1,30 ± 0,55 <sup>a</sup>   | 0,14 ± 0,09 <sup>b</sup>   | 0,21 ± 0,08 <sup>b</sup>   |
| % M C17:0     | 0,08 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 0,09 ± 0,01 <sup>a</sup>   | 0,09 ± 0,02 <sup>a</sup>   |
| % M C17:1     | 0,14 ± 0,06 <sup>a</sup>   | 0,05 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 0,06 ± 0,01 <sup>b</sup>   |
| % M C18:0     | 2,99 ± 0,46 <sup>b</sup>   | 3,46 ± 0,47 <sup>b</sup>   | 5,81 ± 1,50 <sup>a</sup>   |
| % M C18:1     | 68,18 ± 13,28 <sup>a</sup> | 15,83 ± 4,13 <sup>c</sup>  | 44,16 ± 10,77 <sup>b</sup> |
| % M C18:2     | 12,69 ± 8,93 <sup>b</sup>  | 40,07 ± 7,92 <sup>a</sup>  | 31,29 ± 13,92 <sup>a</sup> |
| % M C20:0     | 0,45 ± 0,05 <sup>b</sup>   | 0,47 ± 0,18 <sup>b</sup>   | 0,94 ± 0,46 <sup>a</sup>   |
| % M C18:3     | 0,95 ± 0,62 <sup>b</sup>   | 32,45 ± 14,83 <sup>a</sup> | 3,33 ± 2,95 <sup>b</sup>   |
| % M C22:0     | 0,15 ± 0,10 <sup>a</sup>   | 0,16 ± 0,14 <sup>a</sup>   | 0,28 ± 0,15 <sup>a</sup>   |

\*Diferencias significativa  $p < 0,05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceites.

### 4.3.2 Determinación del perfil de tocoferoles

En los Cuadros 18, 19 y 20 se muestra el perfil de tocoferoles de los aceites vegetales de oliva, sachá inchi y ajonjolí, respectivamente.

Los tocoferoles son los agentes antioxidantes naturales más importantes sintetizados en la mayoría de las plantas vasculares o superiores, también son importantes inhibidores de la lipooxidación y confieren estabilidad a la grasa o aceite que los posee. Por tanto, los tocoferoles son constituyentes importantes en la composición de los aceites vegetales, ya que le otorga estabilidad, y tienen un papel biológico beneficioso como vitamina E y antioxidantes. Químicamente el  $\alpha$ -tocoferol es la forma de la vitamina E que ejerce una acción antioxidante más importante, ya que reacciona con los radicales peróxidos de los ácidos grasos, que son los productos primarios de la autooxidación de la grasa, y detiene así la alteración en las primeras etapas (Lozano et al. 2012).

En el caso del aceite de oliva, el contenido en tocoferoles depende mucho de la variedad de la aceituna, sus concentraciones varían desde 5 a 300 mg/kg. En los aceites de oliva de buena calidad, el contenido suele estar entre los 100 y 300 mg/kg (Lozano, 2010). En el Cuadro 15 se puede observar que la media para los aceites de oliva es de 370,77mg/kg, lo cual supera lo referido por otros autores. El estudio realizado por Allalout et al. (2009) presentó valores inferiores a los obtenidos; dónde obtuvo valores de 220 mg/kg. Cabe resaltar que en el aceite de oliva los tocoferoles en mayor predominio son el  $\alpha$ -tocoferol y el  $\gamma$ -tocoferol, sin embargo, se puede observar que la muestra O05 presenta alto contenido de  $\delta$ -tocoferol, lo cual no corresponde con un aceite de oliva.

**Cuadro 18: Tocoferoles en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial**

| Muestra      | $\alpha$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\beta$ tocoferol<br>(mg/kg) | $\gamma$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\delta$ -tocoferol<br>(mg/kg) | Total (mg/kg)        |
|--------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| O01          | 273,05±2,75                    | ND                           | 33,54±3,05                     | ND                             | 317,13 ± 2,51        |
| O02          | 331,96±8,99                    | ND                           | 30,32±4,01                     | ND                             | 367,30 ± 7,30        |
| O03          | 171,76±13,11                   | ND                           | ND                             | ND                             | 189,67 ± 23,43       |
| O04          | 310,34±14,44                   | ND                           | 29,84±2,30                     | ND                             | 350,17 ± 13,76       |
| O05          | 244,46±64,64                   | ND                           | 512,03±140,18                  | 216,57±61,6                    | 981,35±273,32        |
| O06          | 351,46±11,34                   | ND                           | 22,47±6,22                     | ND                             | 381,33±3,67          |
| O07          | 336,49±7,78                    | ND                           | 41,17±2,62                     | ND                             | 381,33±6,50          |
| O08          | 409,84±179,17                  | ND                           | 33,30±22,95                    | ND                             | 448,32±205,08        |
| O09          | 344,180±124,30                 | ND                           | 24,88±10,71                    | ND                             | 373,04±135,09        |
| O10          | 102,27±3,02                    | ND                           | 15,41±9,27                     | ND                             | 120,81±7,34          |
| O11          | 314,60±18,88                   | ND                           | 24,58±0,00                     | ND                             | 347,81±18,73         |
| O12          | 322,27±6,63                    | ND                           | 29,38±1,07                     | ND                             | 354,61±4,95          |
| O13          | 303,93±9,57                    | ND                           | ND                             | ND                             | 310,54±8,14          |
| O14          | 342,01±0,62                    | ND                           | 17,18±2,39                     | ND                             | 363,49±3,03          |
| O15          | 356,01±2,83                    | ND                           | 29,55±0,79                     | ND                             | 390,81±3,60          |
| O16          | 271,28±3,85                    | ND                           | 29,97±0,25                     | ND                             | 310,82±3,12          |
| O17          | 354,91±122,85                  | ND                           | 22,35±3,48                     | ND                             | 384,39±122,61        |
| O18          | 282,61±21,94                   | ND                           | 25,38±0,60                     | ND                             | 316,35±22,44         |
| O19          | 401,28±74,38                   | ND                           | 42,42±1,16                     | ND                             | 448,72±75,85         |
| O20          | 266,10±1,85                    | ND                           | ND                             | ND                             | 277,53±1,06          |
| <b>MEDIA</b> | <b>304,54±2,27</b>             | <b>ND</b>                    | <b>48,99±109,51</b>            | <b>10,83±48,43</b>             | <b>370,77±162,87</b> |

ND <10 mg/kg

En las muestras de aceite de sacha inchi, se puede observar una media de 3239,56 mg/kg de tocoferoles. Fanali et al. (2011) reportaron valores totales de tocoferoles de 2130 mg / kg. Todas las muestras, excepto la S22, cumplen con el requerimiento de la NTP (>1900mg/kg). Según Chasquibol et al. (2016), el aceite de sacha inchi tiene cantidades despreciables de  $\alpha$ -tocoferol, sin embargo, las muestras S23 y S24 muestras cantidades mayores a 50mg/kg.



Según Chirinos et al. (2015), el sachá inchi contiene una importante cantidad de tocoferoles (78,6 – 137,0 mg/100g), primando el  $\gamma$ -tocoferol (56,8 – 81,4 mg/100g) y  $\delta$ -tocoferol (29,2 – 47,6 mg/100g), en menores cantidades el  $\beta$ -tocoferol (0,67 – 0,95 mg/100g) y  $\alpha$ -tocoferol (1,13 – 1,27 mg/100g). Lo cual también coincide con nuestro estudio, dónde se encontró mayor presencia de  $\gamma$ -tocoferol (2021,58 mg/kg) en el aceite de sachá inchi. Esto componentes le confieren mayor estabilidad oxidativa, ya que la actividad antioxidante de los tocoferoles en lípidos está en orden  $\gamma > \delta > \beta > \alpha$  (Schmidt y Pokorný 2005). Esta variación a nivel de la presencia de los diversos tipos de tocoferoles en el sachá inchi estaría influenciada por la procedencia de la semilla (entorno medio ambiental donde se desarrollan) así como a los diferentes procedimientos de cuantificación empleados. El aceite de sachá inchi contiene una buena fuente de tocoferoles en comparación con otros aceites tales como semillas de colza (439 mg / kg), maíz (886,5 mg / kg), almendras (379,8 mg / kg) y nueces (209,4 mg/kg) (Gliszczynska-Swigło et al. 2007; Yang et al. 2018).

**Cuadro 19: Tocoferoles en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial**

| Muestra | $\alpha$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\beta$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\gamma$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\delta$ -tocoferol<br>(mg/kg) | Total<br>(mg/kg) |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| S21     | 17,69±30                       | ND                            | 1947,12±103,16                 | 1230,13±21,95                  | 3195,56±156,77   |
| S22     | ND                             | ND                            | 1280,71±111,57                 | 543,44±65,29                   | 1824,15±176,64   |
| S23     | 100,70±8                       | ND                            | 2315,79±127,27                 | 1331,34±43,03                  | 3747,83±149,14   |
| S24     | 130,46±1                       | ND                            | 1589,13±36,06                  | 698,36±31,72                   | 2417,94±74,62    |
| S25     | ND                             | ND                            | 2975,18±298,18                 | 2037,15±76,01                  | 5012,33±354,03   |
| Media   | 49,77±6,4                      | ND                            | 2021,58±659,04                 | 1168,08±590,80                 | 3239,56±1233,03  |
| NTP*    |                                |                               |                                |                                | >1900            |

\*Norma técnica peruana 2018, ND <10 mg/kg

Respecto a las muestras de aceite de ajonjolí (Cuadro 17), se puede observar que en todos los casos las muestras sobrepasan los parámetros permitidos por la norma Codex. Para el aceite de ajonjolí se espera un mayor contenido de  $\gamma$ -tocoferol y  $\delta$ -tocoferol, sin embargo, la muestra A27 muestra cantidades <10mg/kg, lo cual se considera no detectable.

**Cuadro 20: Tocoferoles en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | $\alpha$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\beta$ tocoferol<br>(mg/kg) | $\gamma$ -tocoferol<br>(mg/kg) | $\delta$ -tocoferol<br>(mg/kg) | Total (mg/kg)        |
|---------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| A26     | 275,31 $\pm$ 29,76             | ND                           | 918,86 $\pm$ 92,80             | 246,93 $\pm$ 6,83              | 1441,10 $\pm$ 119,59 |
| A27     | ND                             | ND                           | 1296,12 $\pm$ 317,08           | ND                             | 1296,12 $\pm$ 317,08 |
| A28     | ND                             | ND                           | 1287,97 $\pm$ 433,34           | 55,82 $\pm$ 96,69              | 1380,97 $\pm$ 457,78 |
| MEDIA   | 91,77 $\pm$ 129,78             | ND                           | 1167,65 $\pm$ 215,50           | 100,92 $\pm$ 129,49            | 1372,73 $\pm$ 72,84  |
| CEE*    | -                              | -                            | 521- 983                       | 4-21                           | 330- 1010            |

\* Norma Codex para aceites vegetales 210-1999, ND <10mg/kg

Según el análisis bivalente (Cuadro 21) se puede observar también diferencias significativas respecto a la presencia de tocoferoles, donde existe una diferencia significativa en el contenido de  $\alpha$ -tocoferol y  $\gamma$ -tocoferol en los aceites de oliva. Por otro lado, se observan diferencias significativas muy marcadas respecto al contenido de  $\gamma$ -tocoferol y  $\delta$ -tocoferol, donde el aceite de sacha inchi destaca respecto a las otras especies de aceites.

**Cuadro 21: Diferencias del perfil de tocoferoles según tipo de aceite virgen extra: oliva, sacha inchi y ajonjolí.**

| Tocoferoles         | Oliva                            | Sacha Inchi                        | Ajonjolí                          |
|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| $\alpha$ -Tocoferol | 304,54 $\pm$ 72,27 <sup>a</sup>  | 49,77 $\pm$ 61,42 <sup>b</sup>     | 91,77 $\pm$ 129,78 <sup>b</sup>   |
| $\beta$ -Tocoferol  | 6,41 $\pm$ 2,68 <sup>a</sup>     | 0,12 $\pm$ 0,28 <sup>b</sup>       | 0,00 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>      |
| $\gamma$ -Tocoferol | 48,99 $\pm$ 109,51 <sup>c</sup>  | 2021,58 $\pm$ 659,04 <sup>a</sup>  | 1167,65 $\pm$ 215,65 <sup>b</sup> |
| $\delta$ -Tocoferol | 10,83 $\pm$ 48,43 <sup>b</sup>   | 1168,08 $\pm$ 590,89 <sup>a</sup>  | 100,92 $\pm$ 129,49 <sup>b</sup>  |
| Tocoferoles totales | 370,77 $\pm$ 162,87 <sup>c</sup> | 3239,56 $\pm$ 1233,03 <sup>a</sup> | 1372,73 $\pm$ 72,84 <sup>b</sup>  |

\*Diferencias significativa  $p < 0,05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceites.

#### 4.4 COMPUESTOS FENÓLICOS

En el Cuadro 22 se muestran los resultados de la composición de polifenoles totales para aceite de oliva virgen dónde se observa una media de 714,13 mg AGE/kg de aceite. Según Lozano (2010) la concentración de polifenoles totales varía entre 50 y 200 mg/kg de aceite, pero se pueden encontrar aceites con contenidos de hasta 1000 mg/kg de aceite. Se han fijado márgenes para el aceite de oliva virgen entre 200 y 1500 mg/kg . La variación de resultados entre los diferentes estudios se debe principalmente a que las zonas de cultivo están situadas en diferentes países, donde el factor climático y agronómico juega un rol fundamental en la composición química en cada variedad del olivo. Los compuestos secoiridoides son los más abundantes en el aceite de oliva virgen, los cuales se caracterizan por la presencia en su estructura de ácido elenólico o sus derivados. Los compuestos secoiridoides están formados por un fenil etil alcohol (hidroxitirosol y tirosol), ácido elenólico y en ocasiones por un residuo glucosídico. Los secoiridoides sin glicosidar se originan en el tratamiento de la aceituna durante la trituration y malaxación, por acción de la enzima  $\beta$ -glucosidasa. Estas últimas por su naturaleza anfifílica se sitúan entre la capa oleosa y las aguas de vegetación, estando más concentradas en ésta última. Durante el almacenamiento, sufren hidrólisis liberándose los fenoles simples (ácido elenólico, hidroxitirosol y tirosol) (Lozano 2010).

El contenido de lignanos en el aceite de oliva virgen puede alcanzar hasta 100 mg/kg, pero hay variaciones considerables entre los distintos aceites, por lo cual estos compuestos fenólicos son considerados como marcadores varietales. Los lignanos, después de los compuestos secoiridoides, son los que se encuentran en mayor abundancia en el aceite de oliva virgen, destacándose principalmente la presencia del (+)-1-hidroxy-pinoresinol y (+)-1-acetoxipinoresinol (Lozano 2010).

**Cuadro 22: Compuestos fenólicos totales de aceite de oliva virgen extra comercial**

| Muestra | Polifenoles totales (mg AGE/kg) |
|---------|---------------------------------|
| O01     | 448,19 ± 30,78                  |
| O02     | 1203,51 ± 17,32                 |
| O03     | 249,40 ± 12,27                  |
| O04     | 641,18 ± 27,29                  |
| O05     | 356,97 ± 8,90                   |
| O06     | 355,15 ± 17,95                  |
| O07     | 1040,23 ± 35,19                 |
| O08     | 926,42 ± 13,16                  |
| O09     | 915,58 ± 1,88                   |
| O10     | 703,03 ± 20,98                  |
| O11     | 549,34 ± 23,50                  |
| O12     | 538,82 ± 7,13                   |
| O13     | 519,35 ± 44,09                  |
| O14     | 907,67 ± 18,81                  |
| O15     | 809,01 ± 59,61                  |
| O16     | 543,02 ± 8,79                   |
| O17     | 1369,40 ± 6,67                  |
| O18     | 578,28 ± 18,19                  |
| O19     | 960,83 ± 32,19                  |
| O20     | 667,30 ± 17,59                  |
| MEDIA   | 714,13 ± 295,80                 |

El contenido de polifenoles totales para las muestras de aceite de sachá inchi se presenta en el Cuadro 23, encontrándose una media de 111,25 mg AGE/kg de aceite. El contenido de polifenoles totales en las muestras de sachá inchi fue inferior al de las muestras de oliva y ajonjolí; sin embargo, al compararlo con otras semillas como almendras y piñones (32–47 mg AGE/kg) presentan mayor contenido (Kornsteiner et al. 2006). Fanali et al. (2011) identificaron los compuestos fenólicos del aceite de sachá inchi obtenidos por presión directa de las semillas y encontraron en el perfil alcohol fenólico, flavonoides, secoridoide y lignanos.

**Cuadro 23: Compuestos fenólicos totales de aceite de sachá inchi virgen extra comercial**

| Muestra      | Polifenoles totales (mg AGE/kg) |
|--------------|---------------------------------|
| S21          | 171,42 ± 9,96                   |
| S22          | 109,66 ± 4,90                   |
| S23          | 149,87 ± 9,59                   |
| S24          | 44,46 ± 6,02                    |
| S25          | 80,87 ± 7,18                    |
| <b>MEDIA</b> | <b>111,25 ± 51,23</b>           |

En el Cuadro 24 se presentan los resultados del contenido de polifenoles totales para las muestras de aceite de ajonjolí. Se encontró una media de 838,84 mg AGE/Kg de aceite. El aceite de ajonjolí contiene una sustancia fenólica, el sesamol, que es un potente antioxidante natural el que junto a las pequeñas proporciones de tocoferoles que contiene, hacen que el aceite sea resistente a la rancidez oxidativa más que los otros aceites vegetales comestibles. Este aceite no solidifica al enfriarse a 0 °C por lo tanto se lo utiliza como sustituto del aceite de oliva, siendo de muy buena calidad para uso comestible, para ensaladas, aceite de mesa y para margarina (Sánchez 2012).

**Cuadro 24: Compuestos fenólicos totales de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | Polifenoles totales (mg AGE/kg) |
|---------|---------------------------------|
| A26     | 741,84 ± 18,02                  |
| A27     | 1409,42 ± 47,75                 |
| A28     | 365,27 ± 19,23                  |
| MEDIA   | 838,84 ± 528,79                 |

Según el Cuadro 25, se puede observar diferencias significativas respecto al contenido de polifenoles, dónde los aceites de oliva y ajonjolí tienen mayor presencia.

**Cuadro 25: Diferencias de polifenoles totales según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.**

| Compuestos bioactivos | Oliva                        | Sacha Inchi                 | Ajonjolí                     |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Polifenoles totales   | 714,13 ± 291,34 <sup>a</sup> | 111,25 ± 53,15 <sup>b</sup> | 838,84 ± 457,31 <sup>a</sup> |

\*Diferencias significativa  $p < 0,05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceites.

#### 4.5 ÍNDICES NUTRICIONALES

La estabilidad oxidativa en los aceites de oliva se encuentra directamente relacionada con su composición química, principalmente si presentan un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) y un bajo contenido en ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico). Además de un alto contenido de compuestos antioxidantes (fenoles y tocoferoles). Para la determinación de los índices nutricionales se utilizó el perfil de ácidos grasos previamente obtenidos y estos nos permitieron obtener una aproximación de los posibles efectos y beneficios para la salud.

En el Cuadro 26 se presenta los resultados para los índices nutricionales de los aceites de oliva. Para la sumatoria de ácidos grasos saturados se encuentra que el aceite de oliva y

ajonjolí (16,74 y 20,94 respectivamente) presentan una diferencia significativa en comparación con el aceite de sacha inchi (Cuadro 29). Dentro de los ácidos grasos saturados presentes en estos aceites destacan el palmítico y esteárico. Las grasas compuestas por ácidos grasos saturados se caracterizan por ser las menos saludables, estando presentes en gran cantidad en los alimentos grasos de origen animal. Por otro lado, los aceites vegetales presentan un mayor contenido de ácidos grasos insaturados que resultan saludables (Fanali et al. 2011).

El contenido de ácidos grasos monoinsaturados es notablemente mayor en los aceites de oliva (69,92%) debido al mayor contenido de ácido oleico. El ácido oleico se caracteriza por reducir el nivel de LDL o “colesterol malo” y aumentar el HDL o “colesterol bueno” responsable de la acción protectora frente a la arteriosclerosis, por lo que resulta más saludable Gutiérrez et al. 2011).

Seguidamente, el contenido de ácidos grasos poliinsaturados es significativamente diferente en el aceite de sacha inchi (72,99%) debido al alto contenido de ácido linolénico y linoleico (Cuadro 27). El sacha inchi es la fuente vegetal más rica en ácido graso linoléico Omega-6 (32 – 37 %) y  $\alpha$ -linolénico Omega-3 (42 – 48%) los cuales el organismo humano no puede sintetizar, a pesar de que deben estar presentes en su dieta para mantener la salud. Estos resultados son concordantes con los reportados por Gutiérrez et al. (2011), Hamaker et al. (1992), Pascual et al. (2000), y Follegatti y Romero (2009).

El más abundante de los ácidos grasos en el aceite de sacha inchi es el ácido linoleico (~50%), el cual cumple la función de controlar y reducir el colesterol que las grasas saturadas acumuladas, además de ser fundamental en la formación de tejido nervioso y del tejido ocular (Pascual et al. 2000). Asimismo, el sacha inchi es rico en ácido  $\alpha$ -linolénico (~11%), Más de la mitad de la grasa del cerebro es omega-3, por lo tanto, este aceite permite el desarrollo de la inteligencia del hombre desde la etapa fetal (Pascual et al. 2000). El aceite de sacha inchi por tanto ofrece importantes beneficios para la salud y la nutrición, tales como proporcionar protección contra las enfermedades cardiovasculares (Guillen et al. 2003) Por lo tanto, en función a su composición rica en ácidos grasos insaturados podemos afirmar que estos aceites tienen un buen potencial beneficio a la salud de sus consumidores.

Respecto a los índices nutricionales, el índice aterogénico (IA) es la relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados y de las principales clases de insaturados. En el Cuadro 29 se muestran diferencias significativas entre las diferentes especies, dónde el aceite de oliva y de ajonjolí presentan un mayor índice aterogénico. Esto se debe a que presentan mayor contenido de ácidos grasos saturados (ácido palmítico).

El índice trombogénico (IT) muestra la tendencia a formar coágulos en los vasos sanguíneos. Esto se define como la relación entre los ácidos grasos protrombogénicos (saturados) y anti-trombogénicos. Según el Cuadro 29, también se muestran diferencias significativas para el aceite de oliva y ajonjolí. Por otro lado, para el índice hipo/hipercolesterolemico (h/H) considera efectos específicos de los ácidos grasos sobre el metabolismo del colesterol, altos valores de h/H son beneficiosos desde el punto de vista nutricional. Se encontró una media de 13,83% para el aceite de sacha inchi, este es significativamente diferente al de los otros aceites debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados omega-3. Es importante resaltar que la información obtenida de estos índices nos permite tener una aproximación de los beneficios para salud de estos aceites en el organismo; sin embargo, para poder afirmar estos efectos es necesario realizar pruebas biológicas.

Finalmente, en cuanto a la relación  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 se encontró que el aceite de sacha inchi tenía una media de 1,77%, siendo este el menor. La FAO (2012) indica que actualmente no existe ningún argumento para recomendar una proporción específica de ácido grasos  $\omega$ -6 a  $\omega$ -3, siempre y cuando se situé dentro de las ingestas recomendadas, es decir, una relación  $\omega$ -6/ $\omega$ 3 desde 1 a 6. Es por ello, que solo el aceite de sacha inchi cumpliría con lo estipulado por la FAO, ya que para el aceite de oliva la media fue 12,93% y para el aceite de ajonjolí 19,65%.



**Cuadro 26. Índices nutricionales en muestras de aceite de oliva virgen extra comercial**

| Muestra      | SFA   | ΣMUFAAs | ΣPUFAAs | IA   | IT   | h/H   | Omega-6/<br>omega-3 |
|--------------|-------|---------|---------|------|------|-------|---------------------|
| O 01         | 22,59 | 53,20   | 24,21   | 0,25 | 0,53 | 3,94  | 20,73               |
| O 02         | 13,57 | 78,95   | 7,91    | 0,11 | 0,28 | 8,80  | 8,58                |
| O 03         | 17,62 | 72,87   | 10,04   | 0,16 | 0,39 | 6,00  | 14,06               |
| O 04         | 22,89 | 51,50   | 26,10   | 0,25 | 0,54 | 3,89  | 21,89               |
| O 05         | 19,56 | 43,42   | 37,53   | 0,19 | 0,38 | 5,17  | 9,83                |
| O 06         | 20,38 | 58,91   | 21,18   | 0,21 | 0,46 | 4,62  | 19,46               |
| O 07         | 14,83 | 79,30   | 6,28    | 0,13 | 0,32 | 7,86  | 7,72                |
| O 08         | 15,15 | 77,26   | 8,00    | 0,14 | 0,32 | 7,24  | 10,40               |
| O 09         | 13,00 | 79,91   | 7,50    | 0,11 | 0,27 | 9,45  | 8,49                |
| O 10         | 15,10 | 76,93   | 8,40    | 0,14 | 0,33 | 7,41  | 11,12               |
| O 11         | 20,92 | 58,73   | 20,82   | 0,22 | 0,48 | 4,43  | 19,25               |
| O 12         | 15,22 | 77,34   | 7,85    | 0,14 | 0,33 | 7,43  | 10,82               |
| O 13         | 12,64 | 79,67   | 8,08    | 0,12 | 0,27 | 8,47  | 12,40               |
| O 14         | 14,78 | 76,65   | 8,96    | 0,14 | 0,32 | 7,26  | 10,90               |
| O 15         | 13,15 | 79,43   | 7,87    | 0,11 | 0,27 | 9,17  | 8,22                |
| O 16         | 22,61 | 52,57   | 25,30   | 0,25 | 0,53 | 3,93  | 20,95               |
| O 17         | 12,62 | 80,58   | 7,24    | 0,10 | 0,26 | 10,20 | 7,69                |
| O 18         | 21,52 | 53,54   | 25,46   | 0,23 | 0,49 | 4,30  | 19,47               |
| O 19         | 14,02 | 80,82   | 5,57    | 0,12 | 0,30 | 8,47  | 6,02                |
| O 20         | 12,67 | 80,79   | 6,93    | 0,12 | 0,27 | 8,52  | 10,54               |
| <b>MEDIA</b> | 16,74 | 69,92   | 14,06   | 0,16 | 0,37 | 6,83  | 12,93               |

IA: índice aterogénico, IT: índice trombogénico, h/H: índice hipo/hipercolesterolénico

**Cuadro 27: Índices nutricionales en muestras de aceite de sachá inchi virgen extra comercial**

| Muestra | SFA   | ΣMUFA <sub>s</sub> | ΣPUFA <sub>s</sub> | IA   | IT   | h/H   | Omega-6 /omega-3 |
|---------|-------|--------------------|--------------------|------|------|-------|------------------|
| S 21    | 9,60  | 15,33              | 75,44              | 0,07 | 0,06 | 14,80 | 0,68             |
| S 22    | 16,54 | 21,46              | 62,78              | 0,14 | 0,22 | 7,47  | 4,55             |
| S 23    | 11,84 | 16,61              | 71,96              | 0,09 | 0,10 | 11,54 | 1,49             |
| S 24    | 12,06 | 16,81              | 71,61              | 0,09 | 0,10 | 11,34 | 1,42             |
| S 25    | 7,26  | 9,89               | 83,15              | 0,04 | 0,04 | 24,00 | 0,71             |
| MEDIA   | 11,46 | 16,02              | 72,99              | 0,08 | 0,10 | 13,83 | 1,77             |

IA:índice aterogénico, IT: índice trombogénico, h/H: índice hipo/hipercolesterolénico

**Cuadro 28: Índices nutricionales en muestras de aceite de ajonjolí virgen extra comercial**

| Muestra | SFA   | ΣMUFA <sub>s</sub> | ΣPUFA <sub>s</sub> | IA   | IT   | h/H  | Omega-6 /omega-3 |
|---------|-------|--------------------|--------------------|------|------|------|------------------|
| A 26    | 24,12 | 44,99              | 32,36              | 0,23 | 0,41 | 4,40 | 3,80             |
| A 27    | 22,38 | 54,96              | 23,46              | 0,18 | 0,53 | 5,61 | 39,44            |
| A 28    | 16,33 | 33,35              | 50,89              | 0,13 | 0,31 | 7,95 | 15,71            |
| MEDIA   | 20,94 | 44,43              | 35,57              | 0,18 | 0,42 | 5,99 | 19,65            |

IA:índice aterogénico, IT: índice trombogénico, h/H: índice hipo/hipercolesterolénico, Ácidos grasos saturados (SFA): Suma de ácido palmítico (C16:0), ácido heptadenoico (C17:0), ácido esteárico (C18:0), ácido eicosanoico (C20:0), ácido docosanoico (C22:0) y ácido tetracosanoico (C24:0). AG. Monoinsaturados (ΣMUFA<sub>s</sub>): Suma de ácido palmítoleico (C16:1), ácido heptadecanoico (C17:1), ácido oleico (C18:1) y ácido eicosenoico (C20:1). o AG. Polinsaturados ΣPUFA : Suma de ácido linoleico (C18:2) y ácido α-linolénico (C18:3)

**Cuadro 29: Diferencias de los índices nutricionales según tipo de aceite virgen extra: oliva, sachá inchi y ajonjolí.**

| Índices            | Oliva                      | Sacha Inchi               | Ajonjolí                   |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| SFA                | 16,74 ± 3,83 <sup>a</sup>  | 11,46 ± 3,44 <sup>b</sup> | 20,94 ± 4,09 <sup>a</sup>  |
| ΣMUFA <sub>s</sub> | 69,62 ± 12,88 <sup>a</sup> | 16,02 ± 4,14 <sup>c</sup> | 44,43 ± 10,81 <sup>b</sup> |
| ΣPUFA              | 14,06 ± 9,42 <sup>c</sup>  | 72,99 ± 7,36 <sup>a</sup> | 35,57 ± 13,99 <sup>b</sup> |
| IA                 | 0,16 ± 0,05 <sup>a</sup>   | 0,08 ± 0,03 <sup>b</sup>  | 0,18 ± 0,05 <sup>a</sup>   |
| IT                 | 0,37 ± 0,10 <sup>a</sup>   | 0,10 ± 0,07 <sup>b</sup>  | 0,42 ± 0,11 <sup>a</sup>   |
| hH                 | 6,83 ± 2,10 <sup>b</sup>   | 13,83 ± 6,25 <sup>a</sup> | 5,99 ± 1,80 <sup>b</sup>   |
| omega-6/omega-3    | 12,93 ± 5,28 <sup>a</sup>  | 1,77 ± 1,60 <sup>b</sup>  | 19,65 ± 18,14 <sup>a</sup> |

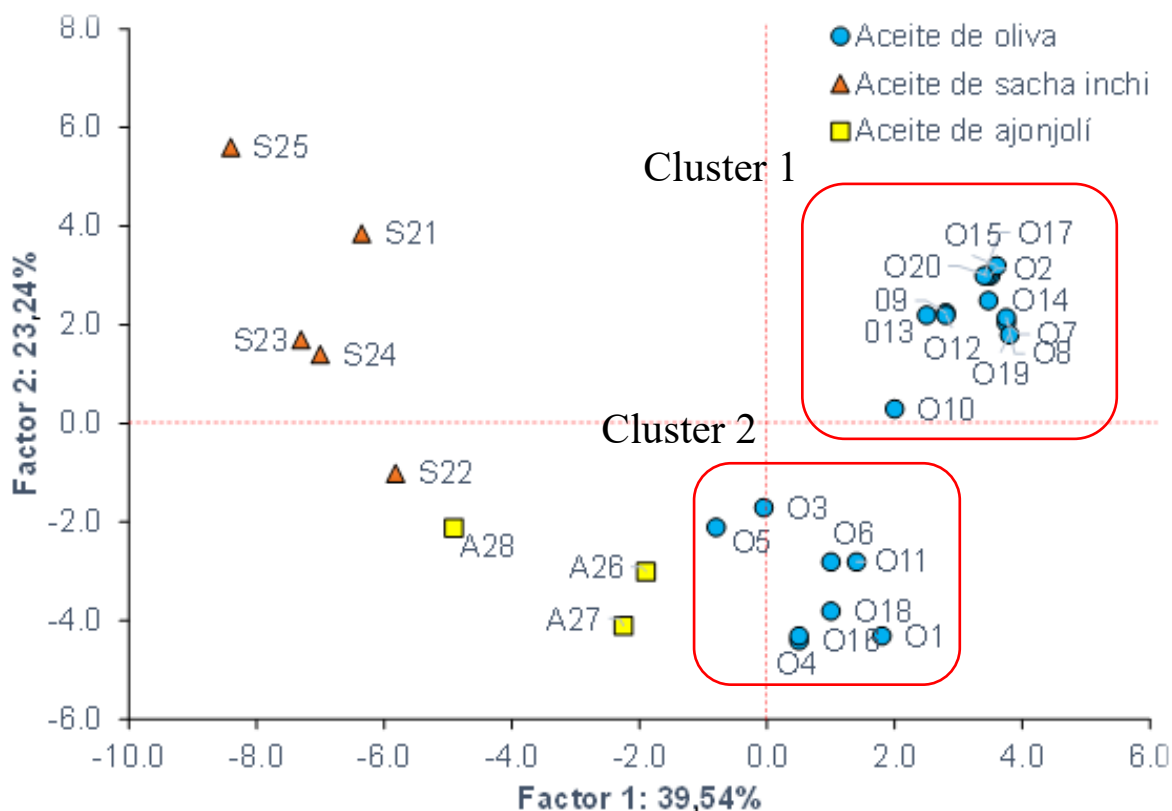
\*Diferencias significativa  $p < 0,05$ . Letras distintas en cada fila representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre especies de aceites.

#### 4.6 ANÁLISIS QUIMIOMÉTRICO

Para tener una visión general de los posibles agrupamientos de las muestras se realizó un PCA global empleando todas las muestras analizadas y todas las variables. El conjunto de análisis incluyó los promedios de triplicado de las 28 muestras analizadas. En la Figura 2 se presenta la gráfica de agrupamiento de los tres tipos de aceites con el objetivo de detectar e interpretar las pautas presentadas por las muestras, ya sean agrupaciones, similitudes, diferencias y/o muestras anómalas.

El gráfico de scores (Figura 2) revela agrupamientos por variedad de aceite de las muestras analizadas según las 41 variables estudiadas. Los dos primeros componentes explicaron un 62,78% de la variabilidad de los datos (39,54% para PC1 y 23,24% para PC2). En el cuadrante superior izquierdo es posible diferenciar las muestras del aceite de sachá inchi, los aceites de oliva a la derecha y los aceites de ajonjolí en la parte inferior. Del análisis

quimiométrico, se desprende que los aceites de sacha inchi S23 y S24 son muy similares en su composición química, pero difieren en máxima medida con la composición química de los aceites de oliva. Igualmente podemos asegurar que los aceites de oliva O2, O7, O8, O9, O10, O12, O13, O14, O15, O17, O19, O20 son muy similares en su composición química entre sí; en tanto difieren de las muestras O1, O3, O4, O5, O6, O11, O16, O18.



**Figura 2: Análisis de componentes principales (PCA) de muestras de aceite virgen extra comercial de oliva, sacha inchi y ajonjolí obtenido con la información de 41 variables.**

Se procedió a clasificar las muestras de aceite de oliva en dos grupos (Cluster 1 y 2) como se muestra en el Cuadro 30. Mediante una prueba de t-student se determinó cuáles eran las variables significativas ( $p < 0,05$ ) que permiten que se formen dos grupos entre los aceites de oliva. De las 41 variables en estudio 23 permiten la subdivisión en dos grupos de las muestras de aceite de oliva. En el cluster 1 se lograron agrupar el 60 % de las muestras ( $n=12$ ) y en el cluster 2 se agruparon el 40% de las muestras ( $n=8$ ). Se puede destacar que las muestras de aceite de oliva agrupadas en el cluster 1 presentan mayor contenido de compuestos fenólicos,

sumatoria de pigmentos y mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados. Y en el cluster 2 se agruparon las muestras con mayor contenido de ácidos grasos saturados y ácidos grasos poliinsaturados.

El análisis de los aceites ha permitido identificar los compuestos que actúan como posibles diferenciadores para las variedades estudiadas y que a la vez pueden asociarse a atributos de calidad relevantes. De acuerdo, a los resultados obtenidos en el PCA hay claras evidencias que las variables estudiadas en las muestras de aceite contienen información relevante para su diferenciación en cuanto a tipo de aceite.

**Cuadro 30: Agrupamiento de las muestras de aceites de oliva según las variables estudiadas**

| Variable               | Cluster 1 | Cluster 2 | DS     | p      | SIG |
|------------------------|-----------|-----------|--------|--------|-----|
|                        | N=12      | N= 8      |        |        |     |
|                        | MEDIA     | MEDIA     |        |        |     |
| Índice de acidez       | 0,21      | 0,50      | 0,21   | 0,0012 | *   |
| Peróxidos              | 2,28      | 2,81      | 0,37   | 0,5372 |     |
| Dienos                 | 2,04      | 2,47      | 0,30   | 0,4612 |     |
| Trienos                | 0,15      | 0,35      | 0,14   | 0,0319 | *   |
| Índice de yodo         | 91,18     | 105,05    | 9,81   | 0,7111 |     |
| Polifenoles            | 864,02    | 454,35    | 289,68 | 0,0042 | *   |
| Clorofilas             | 10,28     | 3,98      | 4,45   | 0,0012 | *   |
| Carotenos              | 6,76      | 2,47      | 3,03   | 0,0000 | *   |
| Sum pigmentos          | 17,04     | 6,46      | 7,48   | 0,0001 | *   |
| L                      | 63,47     | 74,91     | 8,09   | 0,4919 |     |
| a*                     | 5,08      | -0,78     | 4,14   | 0,0009 | *   |
| b*                     | 86,40     | 50,41     | 25,45  | 0,0026 | *   |
| C* <sub>ab</sub>       | 86,57     | 50,43     | 25,55  | 0,0026 | *   |
| h <sub>ab</sub>        | 86,77     | 90,86     | 2,89   | 0,5907 |     |
| α tocoferol            | 322,60    | 277,45    | 31,93  | 0,1687 |     |
| B tocoferol            | 4,50      | 9,28      | 3,38   | 0,0066 | *   |
| γ tocoferol            | 24,63     | 85,53     | 43,06  | 0,1897 |     |
| δ tocoferol            | 0,00      | 27,07     | 19,14  | 0,1781 |     |
| Tocoferoles<br>totales | 351,74    | 399,33    | 33,65  | 0,6573 |     |
| % M C14:0              | 0,07      | 0,06      | 0,01   | 0,3955 |     |
| % M C16:1              | 0,96      | 1,81      | 0,60   | 0,0015 | *   |
| % M C17:0              | 0,09      | 0,06      | 0,02   | 0,0436 | *   |
| % M C17:1              | 0,17      | 0,10      | 0,05   | 0,0137 | *   |
| % M C18:0              | 2,95      | 3,04      | 0,06   | 0,5044 |     |
| % M C18: 1             | 77,85     | 53,69     | 17,08  | 0,0005 | *   |
| % M C18:2              | 6,44      | 22,06     | 11,05  | 0,0002 | *   |

«Continuación»

| Variable           | Cluster 1 | Cluster 2 | DS    | p      | SIG |
|--------------------|-----------|-----------|-------|--------|-----|
|                    | N=12      | N= 8      |       |        |     |
|                    | MEDIA     | MEDIA     |       |        |     |
| % M C20:0          | 0,41      | 0,49      | 0,06  | 0,5623 |     |
| % M C18:3          | 0,69      | 1,33      | 0,45  | 0,0388 | *   |
| % M C22:0          | 0,16      | 0,13      | 0,02  | 0,3567 |     |
| SFA                | 13,90     | 21,01     | 5,03  | 0,0241 | *   |
| ΣMUFA <sub>s</sub> | 78,97     | 55,59     | 16,53 | 0,0007 | *   |
| ΣPUFA              | 7,55      | 23,83     | 11,51 | 0,0003 | *   |
| IA                 | 0,12      | 0,22      | 0,07  | 0,0023 | *   |
| IT                 | 0,29      | 0,48      | 0,13  | 0,0095 | *   |
| HH                 | 8,36      | 4,53      | 2,70  | 0,0001 | *   |
| w-6/w-3            | 9,41      | 18,20     | 6,22  | 0,0011 |     |

\*Diferencias significativa ( $p < 0,05$ )

## V. CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron las muestras de aceites según parámetros de calidad como acidez libre, índice de peróxidos, dienos y trienos conjugados e índice de yodo. Se determinó que todas las muestras de aceites de oliva y sachá inchi cumplen con los parámetros de acidez y de peróxidos. En el caso del aceite de ajonjolí, estos parámetros no están estipulados por las normas Codex. Los aceites de oliva y sachá inchi cumplen con los parámetros establecidos de acidez (<0.8% y 1% respectivamente) y de peróxidos (<20meq O<sub>2</sub>/kg y 10 meq O<sub>2</sub>/kg, respectivamente). Según el análisis bivariante se encontraron diferencias significativas, respecto a los dienos, trienos y peróxidos entre los aceites de oliva, sachá inchi y ajonjolí, siendo el aceite de ajonjolí el que tiene mayor contenido de dienos y trienos conjugados.
2. En los parámetros cromáticos y pigmentos, se encontró que el aceite de oliva es el que tiene mayor b\* 72,00 (más amarillo) y mayor C\*<sub>ab</sub> 72,12 (croma). Respecto a los pigmentos (clorofilas y carotenoides) se pudo evidenciar una diferencia significativa entre el aceite de oliva y los otros tipos de aceites (sachá inchi y ajonjolí), siendo el primero, el de mayor contenido de pigmentos (7,76mg/kg de clorofilas y 5,04mg/kg de carotenos).
3. Se encontró que ocho muestras de aceite de oliva y ninguna muestra de aceite de sachá inchi ni de aceite de ajonjolí cumple con los requerimientos de las normas respecto a la composición de ácidos grasos. Se observaron diferencias muy marcadas respecto al contenido de tocoferoles en el aceite de sachá inchi respecto a las otras especies, donde destaca el  $\gamma$ -tocoferol (2021,58 mg/kg) y  $\delta$ -tocoferol (1168,08mg/kg). Se observaron diferencias significativas respecto al contenido de polifenoles, teniendo los aceites de oliva y



ajonjolí un mayor contenido (700,15mg AGE/kg y 792,56mg GAE/kg, respectivamente).

4. En cuanto a las características nutricionales y se encontró que el aceite que presentó un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados fue el de sachá inchi (72,9%), seguido del aceite de ajonjolí (35,57%). Los aceites de sachá inchi, oliva y ajonjolí son fuente rica en ácidos grasos insaturados (70 – 80%), los cuales poseen potenciales beneficios para salud, no obstante, cada uno es recomendable según sus características para un público específico.
5. El análisis quimiométrico permitió identificar los compuestos que actúan como posibles diferenciadores para las variedades estudiadas (compuestos fenólicos, composición de ácidos grasos y pigmentos) y que a la vez pueden asociarse a atributos de calidad relevantes. Los resultados obtenidos en el PCA permiten evidenciar que las variables estudiadas en las muestras contienen información relevante para su diferenciación en cuanto al tipo de aceite.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda aumentar el número de muestras por tipo de aceite incluyendo aquellas muestras que se expenden en pequeños comercios.
- Se recomienda utilizar otros métodos para la caracterización de los aceites como espectroscopia infrarroja para determinar posibles adulteraciones.
- Se recomienda hacer un perfil de compuestos fenólicos de los aceites vegetales estudiados y determinar su capacidad antioxidante debido a que existe una relación directa a la calidad del aceite, el perfil fenólico también es utilizado como marcador de huella dactilar de un aceite.

## VII . REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allalouts, A.; Krichène, D.; Methenni, K.; Taamalli, A.; Oueslati, I.; Daoud, D and Zarrouk, M. 2009. Characterization of virgin olive oil from super intensive Spanish and greek varieties grown in northern Tunisia. *Scientia horticulturae*. 129: 77-86.
- American Soybean Association. 2000. A reference guide to important soybean facts and figures.
- AOAC (Association of official Analytical Chemist). 1999. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA.
- Attia, Y.; Al-Harhi, M.; Korish, M.; Shiboob, M. 2015 Fatty acid and cholesterol profiles and hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of table eggs in the retail market. *Lipids Health*.14:136.
- Benatmane, F.; Kouba, M.; Youyou, A.; Mourot, J. 2011. Effect of a linseed diet on lipogenesis, fatty acid composition and stearoyl-CoA-desaturase in rabbits. *Animal* 5: 1993–2000.
- Bendell, A.;Disney, J.; McCollin, C. 1999. The future role of statistics in quality engineering and management. *Statistician*. 48: 299–326
- Belitz, H.; Grosch, W. 1999. *Food Chemistry* (2nd ed.). Berlin, Germany: Springer-Verlag.

- Bramley, P.; Elmadfa, I.; Kafatos, A.; Kelly, F.; Manios, Y.; Roxborough, H.; Schuch, W.; Sheehy, P.; Wagner, K. 2000. Review vitamin E. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80 (1): 913- 938.
- Brereton, R. 2003. *Chemometrics: data analysis for the laboratory and chemical plant – the solutions*. Jhon Wiley and Sons Ltd, Chichester, England.
- Brereton, R. 2000. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. *Analyst* 125:2125–2154
- Brimberg, U.; Kamal-Eldin, A. 2003. On the kinetics of the autoxidation of fats: influence of pro-oxidants, antioxidants and synergists. *European Journal Lipid Science Technology*. 105: 83–91.
- Borello, E., Domenici, V. 2019. Determination of pigments in virgin and extra-virgin olive oils: A comparison between two near UV-vis spectroscopic techniques. *Foods*, 8, 18.
- Bouziane, M. 1994. Changes in fatty acid composition of total serum and lipoproteins particles, in growing rats given protein-deficient diet with either hydrogenated coconut or salmon oils as fat sources. *Brit Journal Nutrition*. 71: 375- 387.
- Castañer, O.; Corella, D.; Covas, M. I.; Sorlí, J. V.; Subirana, I.; Flores-Mateo, G.; Nonell, L.; Bulló, M.; de la Torre, R.; Portolés, O.; et al. 2013. In Vivo Transcriptomic Profile after a Mediterranean Diet in High Cardiovascular Risk Patients: A Randomized Controlled Trial. *American Journal Clinical Nutrition*. 98: 845–853.
- Cerretani, L.; Salvador, MD.; Bendini, A.; Fregapane, G. 2008. Relationship between sensory evaluation performed by Italian and Spanish official panels and volatile and phenolic profiles of virgin olive oils. *Chemosens Percept* 1:258–267

- Chasquibol, N.; Gómez-Coca, R.; Yácono, J.; Guinda, A.; Moreda, W.; Del Aguila, C.; Pérez-Camino, M. 2016. Markers of quality and genuineness of commercial extra virgin Sacha inchi oils. *Grasas Aceites*. 67:169.
- Chen, B.; Peng, H.; Chen, H. 1995. Changes of carotenoids, color and vitamin A content during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1912–1918.
- Chirinos, R.; Pedreschi, R.; Domínguez, G.; Campos, D. 2015. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*. 173:1203–1206.
- CIE (Commission International de l'Eclairage Central Bureau. 2004. Technical report colorimetry. (3rd ed) CIE 015:2004, Commission Internationale de l'Eclairage Central Bureau, Vienna, Austria. ISBN: 978 3 901906 33 6.
- Codex alimentarius. 2011. Anteproyecto de revisión de la norma del codex para los aceites vegetales especificados. Penang, Malasia. 21-25.
- Codex Stan. Normal del CODEX STAN 210-1999 de aceites vegetales especificados.
- Capozzi, F.; Bordoni, A. 2013. Foodomics: a new comprehensive approach to food and nutrition. *Genes Nutrition*. 8:1–4.
- CEE (Comunidad Europea) 2015. Reglamento N° 2568/91 de la comisión de 11 de julio de 1991 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.
- Cui, G.; Luo, M.; Rigg, B.; Roesler, G.; Witt, K. 2002. Uniform colour spaces based on the DIN99 colour difference formula. *Color Research and Application* 27: 282– 292.

- Dag, A.; Kerem, Z.; Yogeve, N.; Zipori, I.; Lavee, S.; Ben-David, E. 2011. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 127: 358–366.
- Del Carlo, M.; Cerretani, L.; Bendini, A.; Cichelli, A.; Compagnone, D. 2010. Changes of pigment composition of virgin olive during frying process. *Italian Sostanze Grasse*. 87: 3–13.
- Fanali, C.; Dugo, L.; Cacciola, F.; Beccaria, M.; Grasso, S.; Dacha, M.; Dugo, P.; Mondello, L. 2011. Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 59:13043–13049.
- FAO/WHO (Food Agricultural Organization/World Health Organization of the United Nations). 1997. Food and nutrition paper N° 57. Fats and oil in human nutrition report of a joint expert consultation FAO/OMS. Roma.
- FAO (Food and agricultural Organization). 2012. Grasas y Ácidos Grasos en nutrición humana. España. 30- 64.
- Fernandez- Cabanás, V.; Garrido-Varo, A.; Olmo, J.; Pedro, E.; Dardenne, P. 2007. Optimisation of the spectral preTreatments used for Iberian pig fat NIR calibrations. *Chemometrics and intelligent Laboratory Systems*. 87:104.
- Fernández, M.; Ordóñez, J.; Cambero, I.; Santos, C.; Pin, C.; De la Hoz, L. 2007. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chemistry*. 9:107-112.
- Ferrer, E.; Alegria, A.; Farre, R.; Clemente, G.; Calvo, C. 2005. Fluorescence, browning index, and color in infant formulas during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(12): 4911–4917.

- Follegatti-Romero, L.; Piantino, C.; Grimaldi, R.; Cabral, FA. 2009. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) seeds. *Journal Supercrit. Fluid.*49: 323-329
- Fotakis, C.; Kokkotou, K.; Zoumpoulakis, P.; Zervou, M. 2013. NMR metabolite fingerprinting in grape derived products: an overview. *Food International.* 54:1184–1194.
- Frankel, E. 2005. Introduction. In: Frankel, E.N. (Ed.), *Lipid Oxidation*, second ed. Woodhead Publishing, Sawston, UK. 1–14
- Garaffo, MA.; Vassallo-Agius, R.; Nengas, Y.; Lembo, E.; Rando, R. 2011. Fatty acids profile, atherogenic (AI) and thrombogenic (TI) health lipid indices, of raw roe of Bluefin tuna (*Thunnus thynnus L.*) and their salted product “Bottarga”. *Food Nutrition Science.* 2: 736-743.
- García-González, D.; Vivancos, J.; Aparicio, R.. 2011. Mapping brain activity induced by olfaction of virgin olive oil aroma. *Journal Agriculture. Food Chemistry.* 59:10200–10210.
- Giacomelli, LM.; Mattea, M.; Ceballos, CD. 2006. Analysis and characterization of edible oils by chemometric methods. *Journal American Oil Chemistry.* 83:303–308.
- Girotti, A. 1985. Mechanism of lipid peroxidation. *Journal Free Radicals Biology. Medicine.* 1 (2), 87–95.
- Giuliani, A.; Cerretani, L.; Cichelli, A. 2011. Chlorophylls in olive and in olive oil: chemistry and occurrences. *Journal of Food Science Nutrition.* 51: 678–690

- Gliszczynska-Swigło, A.; Sikorska, E.; Khmelinskii, I.; Sikorski, M. 2007. Tocopherol content in edible plant oils. *Poland Journal Food Nutrition Science*. 57:157–161.
- Guillén, M.; Ruiz, A.; Cabo, N.; Chirinos, R.; Pascual, G. 2003. Characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and HNMR Comparison with linseed oil. *Journal of Oil & Fat Industries* 80: 755-762.
- Gutierrez, L.; Quiñones-Segura, Y.; Sanchez-Reinoso, Z.; Díaz, D. 2017 Physicochemical properties of oils extracted from c-irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Food Chemistry*. 237:581–587.
- Gutiérrez, L.; Rosada, L.; Jiménez, A. 2011. Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characterisation of their lipid fraction. *Grasas y aceites* 62(1). 76-83.
- Hai, R. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*.
- Hamaker, B.; Valles, C.; Gilman, R.; Hardmeier, RM.; Clark, D.; Garcia, H.; Gonzales, A.; Kohlstad, I.; Castro, M.; Valdivia, R.; Rodriguez, T.; Lescano, M.1992. Amino acid and fatty acid profiles of the Inca peanut (*Plukenetia volubilis*). *Cereal Chemistry*. 69:461–463.
- Hanssen, H.; schmitz-hübsch, M. 2011. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) nut oil and its therapeutic and nutritional uses. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Academic Press. 1 ed. Londres. Reino Unido. 991-994. 46.
- Heredia, F.; Álvarez, C.; González-Miret, M.; Ramírez, A. 2004. *CromaLab, Análisis de Color*. Sevilla, España, Registro General de la Propiedad Intelectual.



- Hornero-Méndez, D.; Pérez-Gálvez, A.; Mínguez-Mosquera, M. 2001. A Rapid Spectrophotometric Method for the Determination of Peroxide Value in Food Lipids with High Carotenoid Content. *JAOCS*.78 (1).
- Huang, D.; Ou, B.; Hampsch -Woodill, M.; Flanagan, J.; Prior, R. 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50. 4437-4444.
- IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana). 2009. Estudio de viabilidad económica del cultivo de *Plukenetia volubilis* Linneo, sachá inchi, en el departamento de San Martín. 1 ed. Iquitos. Perú. 65:3.}
- IOC (International Olive Council) .2010. Method of Analysis: Spectrophotometric Investigation in the Ultraviolet. IOC/T20/Doc. 19. (3).
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). 1992. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. Oxford, UK,1(7).
- Kornsteiner, M.; Wagner, K.; Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98: 381–387.
- Kumar, N.; Bansal, A.; Sarma, G.; Rawal, R. 2014. Chemometrics tools used in analytical chemistry: an overview. *Talanta* 123:186–199
- Larqué, E.; Garaulet, M.; Pérez-Llamas, F.; Zamora, S.; Tebar, FJ. 2003. Fatty acid composition and nutritional relevance of most widely consumed margarines in Spain. *Grasas Aceite*. 54: 65-70.

- Lazzerini, C., Domenici, V. 2017. Pigments in extra-virgin olive oils produced in Tuscany (Italy) in different years. *Foods*, 6, 25.
- Lercker, G.; Frega, N.; Bocci, F.; Mozzon, M. 1999. Constituyentes volátiles y estabilidad oxidativa de aceites vírgenes de oliva: influencia del batido de la pasta de aceitunas. *Grasas y Aceites* 50(1): 26-29.
- Lozano, J.; Segura, A.; Fernandez, A. 2010. Composición química del aceite de oliva. 7: 209-211
- Maestri, D.; Labuckas, D.; Meriles, J.; Lamarque, A.; Zaygaldó, J.; Guzmán, C.; 1998. Seed composition of soybean cultivar evaluated in diferente environmental conditions. *Journal of the science of food and agriculture*. 77:494-498.
- Mataix, J. 2004. Libro blanco de los Omega 3. Madrid, España. Editorial Medica Panamericana. p17.
- Maurer, N.; Hatta-Sakoda, B.; Pascual-Chagman, G.; Rodriguez-Saona, L. 2012 Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chemistry* 134:1173–1180.
- McGorin, R. 2009. One hundred years of progress in food analysis. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 57:8076–8088.
- Meléndez-Martínez, A.; Ayala, F.; Echávarri, J.; Negueruela, A.; Escudero-Gilete, M.; González-Miret, M.; Vicario, I.; Heredia, F. 2011. A novel and enhanced approach for the assessment of the total carotenoid content of foods based on multipoint spectroscopic measurements. *Food Chemistry*. 126:1862–1869

- Mensik, R. 1992. Effects of dietary cis and trans acids on serum lipoprotein levels in humans. *Journal Lipids Res.* 33:1493-1501.
- Miguez-Mosquera, M.; Gandul, B.; Garrid, J. 1990. Pigments presents in virgin olive oil. *Journal American Oil Chemistry Society.* 67:192–196.
- Montedoro, G.; Taticchi, A.; Esposito, S.; Selvaggini, E.; Urbani, S.; Servili, M. 2007. Antioxidants in virgin olive oil. *Olea.* 26: 5-13.
- Morales, M.; Przybylski, R. 2013. Olive oil oxidation. In: Aparicio, R., Harwood, J.L. (Eds.), *Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties*, second ed. Springer, New York. 479–522.
- Morelló, J.; Vourela, S.; Romero, M.; Motilva, M.; Heiroven, M. 2005. Antioxidant activity of olive pulp y olive oil phenolic compounds of the arbequina cultivar. *Journal Agriculture Food Chemistry.* 53: 2002-2008.
- Moyano, M.; Meléndez-Martínez, A.; Alba, J; Heredia, F. 2008. A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes. *Food Research International.* 41: 505 – 512.
- Moyano, P.; Ríoseco, V.; González, P. 2002. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnates French fries. *Journal of Food Engineering* 54: 249–255.
- Navas, P. 2010. Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales. UCLM, España.
- NTP (Norma Técnica Peruana). 2018. 151.400, NTP 151.400. Aceite de Sacha inchi. Requerimientos, R.D. N° 047-2018-INACAL/DN: Lima, Perú.

- Padilla, M.; Hernández, M.; Sanz, C.; Martínez-Rivas, J. 2009. Functional characterization of two 13-lipoxygenase genes from olive fruit in relation to the biosynthesis of volatile compounds of virgin olive oil. *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 57(19): 9097-9107.
- Pascual, G.; Mejía, M. 2000. Extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Anales Científicos UNALM* 42: 146-160.
- Pathak, N.; Bhaduri, A.; Rai, A. 2017. Sesame: Bioactive Compounds and Health Benefits. *Series in Phytochemistry*. 1–20.
- Paz y Molero . 2000. Aplicación de la espectrofotometría uv-visible al estudio de la estabilidad térmica de aceites vegetales comestibles. *Grasas y Aceites*. . Madrid, España. .51: 424-428
- Prata, R., Pereira, J.A., Rodrigues, N., Dias, L.G., Veloso, A.C.A., Casal, S., Peres, A.M. 2018. Olive oil total phenolic contents and sensory sensations trends during oven and microwave heating processes and their discrimination using an electronic tongue. *Journal of Food Quality*, 2018, 7826428.
- Ramírez-Tortosa, M.; Granados, S.; Quiles, J. 2006. Chemical composition, types and characteristics of olive oil. In *Oliveoil and health*. Ed. CABI 45-63.
- Ramos, C.; Tarazona, G. 2001. Estudio de la estabilidad de hojuelas fritas de papa durante el almacenamiento al medio ambiente. Lima, Perú. 286 – 296.
- Ramos-Escudero, F.; González-Miret.; M.; Viñas-Ospino, A. 2019. Quality, stability, carotenoids and chromatic parameters of commercial Sachá inchi oil originating from Peruvian cultivar. *Journal of Food Sci Technology*.

- Ranalli, A.; Contento, S.; Schiavone, C.; Simone, N. 2001. Malaxing temperature affects volatile and phenol composition as well as other analytical features of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science Technology* 103: 228-238.
- Ray, NB.; Lam, NT.; Luc, R.; Bonvino, N.; Karagiannis, TC. 2015. Cellular and Molecular Effects of Bioactive Phenolic Compounds in Olives and Olive Oil. In *Olive and Olive Oil Bioactive Constituents*. Dimitrios Boskou, editor AOCS Press. 53-91.
- Rodrigues, L.; Poerner, N.; Rothenbach, I.; Valdemir, L.; Ribas, C.; Fett, R. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 31(4).
- Rondanini, D.; Castro, D.; Searles, P.; Rousseaux, M. 2011. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas y Aceites* 62, 399–409.
- Salazar, M; Belén, D; Marín, G; Moreno, H. 2007. Oxidation Kinetics of the Oil of the Coroba Palm (*Attalea maripa*). 19 (2): 172-182.
- Sanchez, G. 2012. Caracterización y cuantificación de los ácidos grasos Omega 3 y Omega 6 presentes en el aceite de sacha inchi. Tesis Msc. Ciencias Qcas. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 131-118.
- Sayago, A.; Marin, M.; Aparicio, R.; Morales, M. 2007. Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y Aceites*. 51: 74-86.
- Schmidt, Š.; Pokorný, J. 2005. Potential application of oilseeds as sources of antioxidants for lipids – A review. *Czech Journal of Food Science* 23: 93–102.

- Schwenke, W. 2002. Does lack of tocopherols and tocotrienols put women at increased risk of breast cancer. *Journal of Nutritional Biochemistry* 13: 2 -20.
- Šimat, V.; Bogdanović, T.; Poljak, V.; Petričević, S. 2015. Changes in fatty acid composition, atherogenic and thrombogenic health lipid indices and lipid stability of bogue (*Boops Linnaeus, 1758*) during storage on ice: Effect of fish farming activities. *Journal Food Comp Anal.* 40:120-125.
- Singleton, V.; Rossi, J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal Enolic.Vitic.*16:144-158.
- Suárez, M.; Macià, A.; Romero, M.; Motilva, M. 2008. Improved liquid chromatography tandem mass spectrometry method for the determination of phenolic compounds in virgin olive oil. *Journal Chromatography .1214:* 90-99.
- Suja, K.; Jayalekshmy, A.; Arumugan, C. 2005. Antioxidant activity of sesame seed extract. *Food Chemistry.* 91: 213-219.
- Tena, N.; Lobo-Prieto, A.; Aparicio, R.; García-González, D. 2018. Storage and Preservation of Fats and Oils. Instituto de la Grasa (CSIC), Sevilla, Spain.
- Tiwari, M.; Tiwari, K.; Toliwal, S. 2014. Studies on Thermal Stability of Palm – Sesame oil blends during Deep Fat Frying. *Journal of Scientific & Industrial Research.*73: 153-156.
- Tripoli, E.; Giammanco, M.; Tabacchi, G.; Di Majo, D.; Giammanco, S.; La Guardia, M. 2005. The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutrition Research Reviews.* 18: 98-112.
- UNE-EN ISO 660. 2010. Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez.

- USDA (United States Department of Agriculture). 2019. Oilseeds: World markets and trades. Office of Global Analysis. USA.
- Valls, R.; Farràs, M.; Suárez, M.; Fernández-Castillejo, S.; Fitó, M.; Konstantinidou, V.; Fuentes, F.; López-Miranda, J.; Giralt, M.; Covas, M. I.; et al. 2014. Effects of Functional Olive Oil Enriched with its Own Phenolic Compounds on Endothelial Function in Hypertensive Patients: A Randomized Controlled Trial. *Food Chemistry*. 167, 30–35.
- Velasco, J.; Dobarganes, C. 2002. Oxidative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science. Technology*. 104: 661–676.
- Wall, M. 2010. Functional lipid characteristics, oxidative stability, and antioxidant activity of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) cultivars. *Food Chemistry* 121. 1103-1108.
- Woodcock, T.; Downey, G.; O'Donnell, C. 2008. Better quality food and beverages: the role of near infrared spectroscopy. *Journal Near Infrared Spectroscopy*. 16:1–29
- Yang, R.; Zhang, L.; Li, P.; Yu, L.; Mao, J.; Wang, X.; Zhang, Q. 2018. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China. *Trends Food Sci Technol*. 74:26–32.
- Yoshida, Y.; Niki, E.; Noguchi, N. 2003. Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant: chemical and physical effects. *Chemistry and Physical of Lipids* 123(1): 63 – 75.
- Zeb, A.; Murkovic, M. 2011. Carotenoids and triacylglycerols interactions during thermal oxidation of refined olive oil. *Food Chemistry*. 127:1584–1593

Zhang, W.; Li, N.; Feng, Y.; Su, S.; Li, T.; Liang, B. 2015. A unique quantitative method of acid value of edible oils and studying the impact of heating on edible oils by UV–Vis spectrometry. *Food Chemistry*. 185:326-332.

Zumbado, H. 2002. *Análisis químico de los alimentos: Métodos clásicos*. Editorial Universitaria. Ciudad de la Habana, Cuba.



## VII. ANEXOS

### ANEXO 1: Límites de mínimos aceptables de dienos y trienos conjugados para aceites

| Categoría      | Virgen extra | Virgen      | Refinado    |
|----------------|--------------|-------------|-------------|
| K232 (Dienos)  | $\leq 2,40$  | $\leq 2,50$ | 3,4         |
| K270 (Trienos) | $\leq 0,20$  | $\leq 0,25$ | $\leq 1,20$ |
| $\Delta K$     | $\leq 0,01$  | $\leq 0,01$ | $\leq 0,16$ |

FUENTE: International Olive Council (2010).

### ANEXO 2: Análisis estadístico de índice de acidez en las tres especies de aceite

| Fuente           | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Índice de acidez | 2  | 0,624             | 0,312            | 2,621 | 0,093  |
| Error            | 25 | 2,977             | 0,119            |       |        |
| Total corregido  | 27 | 3,601             |                  |       |        |

### ANEXO 3: Análisis estadístico de delta de $\Delta K$ en las tres especies de aceite

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| $\Delta K$      | 2  | 1,544             | 0,772            | 1,769 | 0,191  |
| Error           | 25 | 10,907            | 0,436            |       |        |
| Total corregido | 27 | 12,451            |                  |       |        |

**ANEXO 4: Análisis estadístico dienos en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Dienos          | 2  | 3,387             | 1,694            | 9,521 | 0,001  |
| Error           | 25 | 4,447             | 0,178            |       |        |
| Total corregido | 27 | 7,835             |                  |       |        |

**ANEXO 5: Análisis estadístico de trienos en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| Trienos         | 2  | 7,895             | 3,947            | 46,728 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 2,112             | 0,084            |        |          |
| Total corregido | 27 | 10,007            |                  |        |          |

**ANEXO 6: Análisis estadístico de índice de acidez en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Peróxidos       | 2  | 18,100            | 9,050            | 6,866 | 0,004  |
| Error           | 25 | 32,954            | 1,318            |       |        |
| Total corregido | 27 | 51,054            |                  |       |        |

**ANEXO 7: Análisis estadístico de índice de yodo en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Índice de yodo  | 2  | 526,078           | 263,039          | 2,092 | 0,145  |
| Error           | 25 | 3144,068          | 125,763          |       |        |
| Total corregido | 27 | 3670,146          |                  |       |        |

**ANEXO 8: Análisis estadístico de clorofilas en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Clorofilas      | 2  | 305,251           | 152,625          | 11,442 | 0,000  |
| Error           | 25 | 333,469           | 13,339           |        |        |
| Total corregido | 27 | 638,720           |                  |        |        |

**ANEXO 9: Análisis estadístico de carotenos en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Carotenos       | 2  | 90,293            | 45,147           | 10,900 | 0,000  |
| Error           | 25 | 103,543           | 4,142            |        |        |
| Total corregido | 27 | 193,837           |                  |        |        |

**ANEXO 10: Análisis estadístico de sumatoria de pigmentos en las tres especies de aceite**

| Fuente                 | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Sumatoria de pigmentos | 2  | 724,832           | 362,416          | 12,028 | 0,000  |
| Error                  | 25 | 753,266           | 30,131           |        |        |
| Total corregido        | 27 | 1478,098          |                  |        |        |

**ANEXO 11: Análisis estadístico del parámetro cromático "L" en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| L               | 2  | 1055,356          | 527,678          | 2,733 | 0,084  |
| Error           | 25 | 4826,591          | 193,064          |       |        |
| Total corregido | 27 | 5881,947          |                  |       |        |

**ANEXO 12: Análisis estadístico del parámetro cromático “a\*” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| a*              | 2  | 22,194            | 11,097           | 0,965 | 0,395  |
| Error           | 25 | 287,431           | 11,497           |       |        |
| Total corregido | 27 | 309,625           |                  |       |        |

**ANEXO 13: Análisis estadístico del parámetro cromático “b\*” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| b*              | 2  | 9672,288          | 4836,144         | 9,594 | 0,001  |
| Error           | 25 | 12602,022         | 504,081          |       |        |
| Total corregido | 27 | 22274,311         |                  |       |        |

**ANEXO 14: Análisis estadístico del parámetro cromático “C\*<sub>ab</sub>” en las tres especies de aceite**

| Fuente           | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| C* <sub>ab</sub> | 2  | 9692,584          | 4846,292         | 9,549 | 0,001  |
| Error            | 25 | 12687,364         | 507,495          |       |        |
| Total corregido  | 27 | 22379,948         |                  |       |        |

**ANEXO 15: Análisis estadístico del parámetro cromático “h<sub>ab</sub>” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| h <sub>ab</sub> | 2  | 3,176             | 1,588            | 0,184 | 0,833  |
| Error           | 25 | 216,083           | 8,643            |       |        |
| Total corregido | 27 | 219,260           |                  |       |        |

**ANEXO 16: Análisis estadístico del “%MC 14:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| %MC 14:0        | 2  | 0,003             | 0,001            | 0,734 | 0,490  |
| Error           | 25 | 0,051             | 0,002            |       |        |
| Total corregido | 27 | 0,054             |                  |       |        |

**ANEXO 17: Análisis estadístico del “%MC 16:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| % M C16:0       | 2  | 142,660           | 71,330           | 5,489 | 0,011  |
| Error           | 25 | 324,900           | 12,996           |       |        |
| Total corregido | 27 | 467,561           |                  |       |        |

**ANEXO 18: Análisis estadístico del “%MC 16:1” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| % M C16:1       | 2  | 7,321             | 3,660            | 15,817 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 5,785             | 0,231            |        |          |
| Total corregido | 27 | 13,106            |                  |        |          |

**ANEXO 19: Análisis estadístico del “%MC 17:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| % M C17:0       | 2  | 0,000             | 0,000            | 0,141 | 0,869  |
| Error           | 25 | 0,027             | 0,001            |       |        |
| Total corregido | 27 | 0,027             |                  |       |        |

**ANEXO 20: Análisis estadístico del “%MC 17:1” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| % M C17:1       | 2  | 0,041             | 0,021            | 7,211 | 0,003  |
| Error           | 25 | 0,072             | 0,003            |       |        |
| Total corregido | 27 | 0,113             |                  |       |        |

**ANEXO 21: Análisis estadístico del “%MC 18:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| % M C18:0       | 2  | 20,811            | 10,405           | 27,360 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 9,508             | 0,380            |        |          |
| Total corregido | 27 | 30,319            |                  |        |          |

**ANEXO 22: Análisis estadístico del “%MC 18:1” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| % M C18:1       | 2  | 11454,859         | 5727,430         | 39,216 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 3651,161          | 146,046          |        |          |
| Total corregido | 27 | 15106,020         |                  |        |          |

**ANEXO 23: Análisis estadístico del “%MC 18:2” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| % M C18:2       | 2  | 3460,084          | 1730,042         | 20,092 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 2152,701          | 86,108           |        |          |
| Total corregido | 27 | 5612,785          |                  |        |          |

**ANEXO 24: Análisis estadístico del “%MC 20:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| % M C20:0       | 2  | 0,655             | 0,328            | 13,504 | 0,000  |
| Error           | 25 | 0,607             | 0,024            |        |        |
| Total corregido | 27 | 1,262             |                  |        |        |

**ANEXO 25: Análisis estadístico del “%MC 18:3” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| % M C18:3       | 2  | 4010,258          | 2005,129         | 55,413 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 904,634           | 36,185           |        |          |
| Total corregido | 27 | 4914,892          |                  |        |          |

**ANEXO 26: Análisis estadístico del “%MC 22:0” en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| % M C22:0       | 2  | 0,047             | 0,023            | 1,770 | 0,191  |
| Error           | 25 | 0,328             | 0,013            |       |        |
| Total corregido | 27 | 0,375             |                  |       |        |

**ANEXO 27: Análisis estadístico del alfa tocoferol en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| Alfa tocoferol  | 2  | 329769,409        | 164884,704       | 25,004 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 164860,694        | 6594,428         |        |          |
| Total corregido | 27 | 494630,102        |                  |        |          |

**ANEXO 28: Análisis estadístico del beta tocoferol en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| Beta tocoferol  | 2  | 229,484           | 114,742          | 21,008 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 136,547           | 5,462            |        |          |
| Total corregido | 27 | 366,032           |                  |        |          |

**ANEXO 29: Análisis estadístico del Gamma tocoferol en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F       | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|---------|----------|
| Gamma tocoferol | 2  | 16969098,20       | 8484549,100      | 103,064 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 2058077,222       | 8232,089         |         |          |
| Total corregido | 27 | 19027175,42       |                  |         |          |

**ANEXO 30: Análisis estadístico del delta tocoferol en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|----------|
| Delta tocoferol | 2  | 5410493,075       | 2705246,537      | 4,861 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 1474694,606       | 58987,784        |       |          |
| Total corregido | 27 | 6885187,681       |                  |       |          |

**ANEXO 31: Análisis estadístico de tocoferol totales en las tres especies de aceite**

| Fuente              | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|---------------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| Tocoferoles totales | 2  | 33410891,041      | 16705445,521     | 63,316 | < 0,0001 |
| Error               | 25 | 6596038,248       | 263841,530       |        |          |
| Total corregido     | 27 | 40006929,289      |                  |        |          |



**ANEXO 32: Análisis estadístico d polifenoles totales en las tres especies de aceite**

| Fuente              | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|---------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Polifenoles totales | 2  | 1524779,819       | 762389,910       | 9,333 | 0,001  |
| Error               | 25 | 2042233,375       | 81689,335        |       |        |
| Total corregido     | 27 | 3567013,195       |                  |       |        |

**ANEXO 33: Análisis estadístico de los ácidos grasos saturados en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| SFA             | 2  | 185,626           | 92,813           | 6,458 | 0,005  |
| Error           | 25 | 359,321           | 14,373           |       |        |
| Total corregido | 27 | 544,947           |                  |       |        |

**ANEXO 34: Análisis estadístico de los ácidos grasos monoinsaturados en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| MUFAS           | 2  | 12051,788         | 6025,894         | 43,600 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 3455,203          | 138,208          |        |          |
| Total corregido | 27 | 15506,991         |                  |        |          |

**ANEXO 35: Análisis estadístico de los ácidos grasos poliinsaturados en las tres especies de aceite**

| Fuente          | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F   |
|-----------------|----|-------------------|------------------|--------|----------|
| PUFAS           | 2  | 14142,622         | 7071,311         | 77,048 | < 0,0001 |
| Error           | 25 | 2294,437          | 91,777           |        |          |
| Total corregido | 27 | 16437,059         |                  |        |          |

**ANEXO 36: Análisis estadístico del índice de aterogenicidad en las tres especies de aceite**

| Fuente                   | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|--------------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Índice de aterogenicidad | 2  | 0,026             | 0,013            | 4,941 | 0,016  |
| Error                    | 25 | 0,066             | 0,003            |       |        |
| Total corregido          | 27 | 0,092             |                  |       |        |

**ANEXO 37: Análisis estadístico del índice de trombogenicidad en las tres especies de aceite**

| Fuente                    | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|---------------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| Índice de trombogenicidad | 2  | 0,310             | 0,155            | 16,57 | <      |
| Error                     | 25 | 0,234             | 0,009            | 5     | 0,0001 |
| Total corregido           | 27 | 0,544             |                  |       |        |

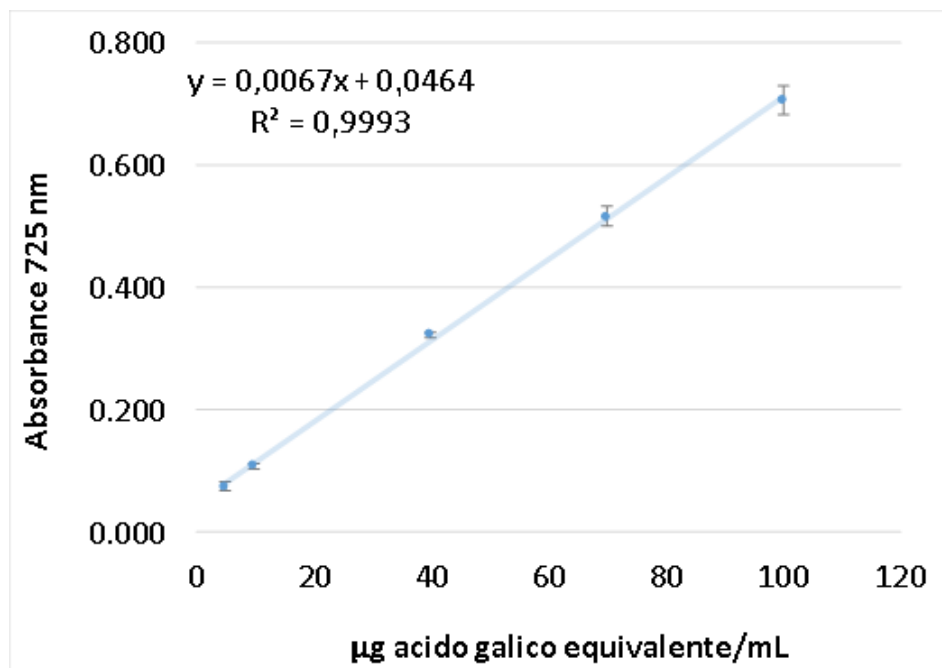
**ANEXO 38: Análisis estadístico del índice hipo/hipercolesterolémico en las tres especies de aceite**

| Fuente                           | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F      | Pr > F |
|----------------------------------|----|-------------------|------------------|--------|--------|
| Índice hipo/hipercolesterolémico | 2  | 209,568           | 104,784          | 10,624 | 0,000  |
| Error                            | 25 | 246,578           | 9,863            |        |        |
| Total corregido                  | 27 | 456,146           |                  |        |        |

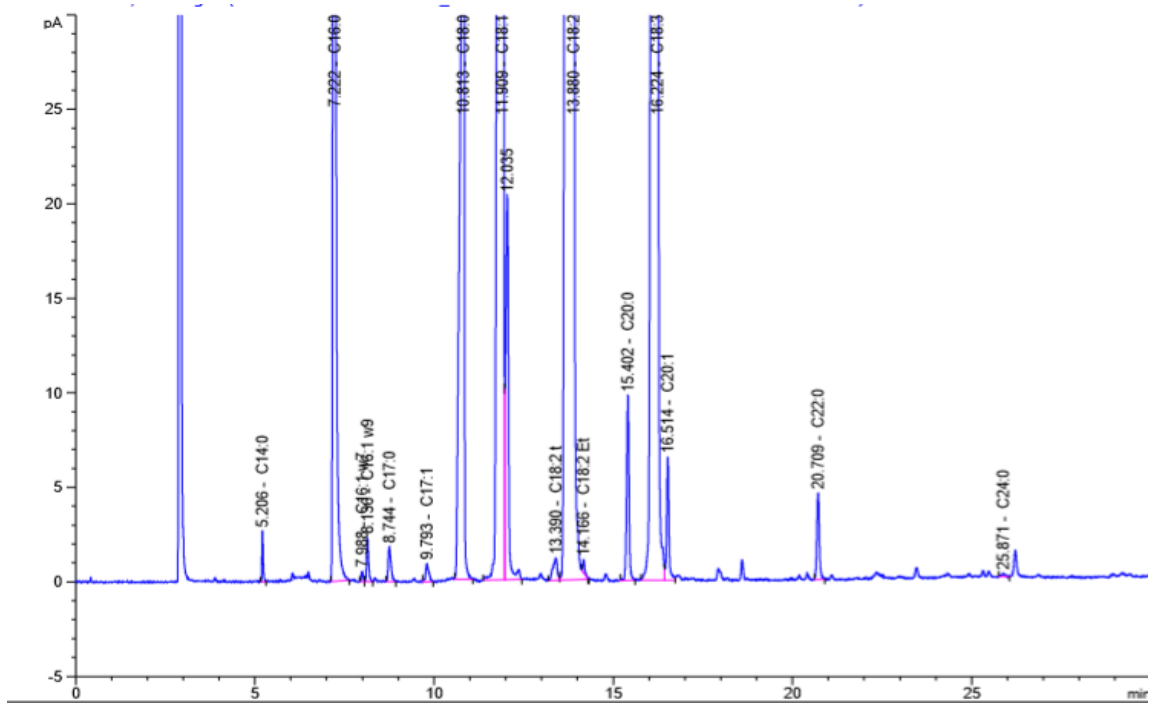
**ANEXO 39: Análisis estadístico de la relación omega-6/omega-3 en las tres especies de aceite**

| Fuente           | GL | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F     | Pr > F |
|------------------|----|-------------------|------------------|-------|--------|
| omega-6 /omega-3 | 2  | 712,445           | 356,222          | 7,435 | 0,003  |
| Error            | 25 | 1197,711          | 47,908           |       |        |
| Total corregido  | 27 | 1910,156          |                  |       |        |

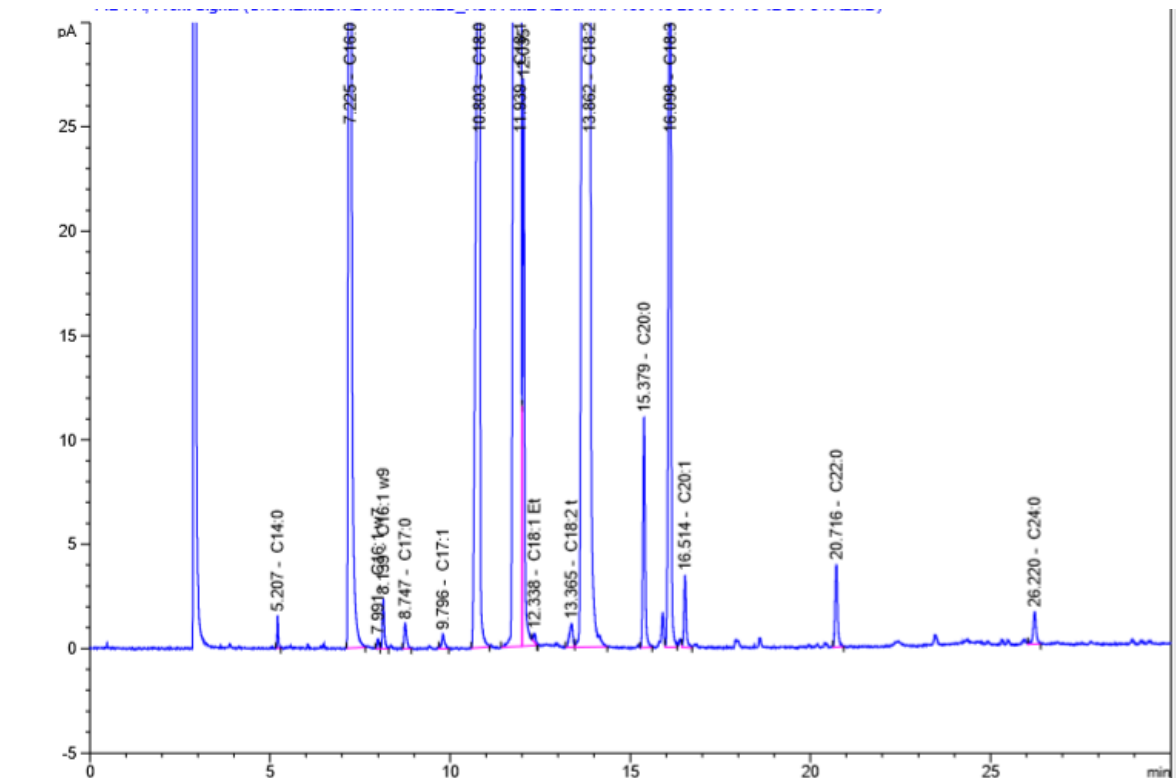
**ANEXO 40: Curva de calibración para la determinación de polifenoles totales**



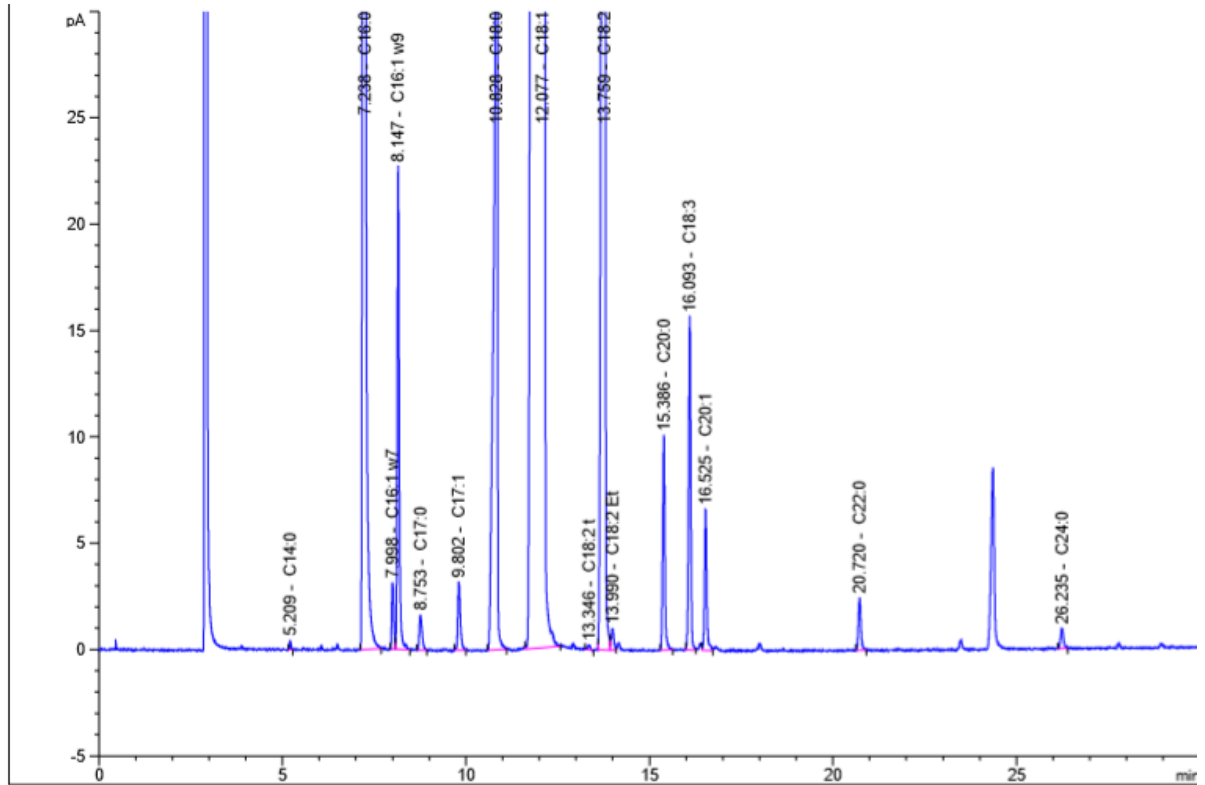
**ANEXO 41: Cromatograma del perfil de ácidos grasos muestra O10 (aceite de oliva)**



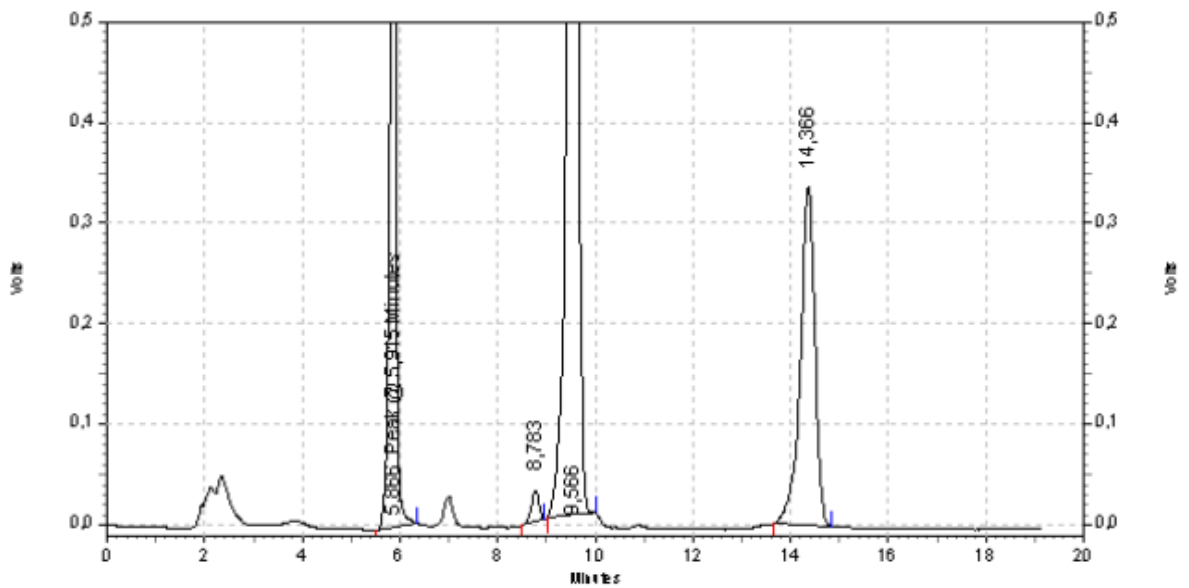
**ANEXO 42: Cromatograma del perfil de ácidos de grasos de la muestra S23 (aceite de sachu inchi)**



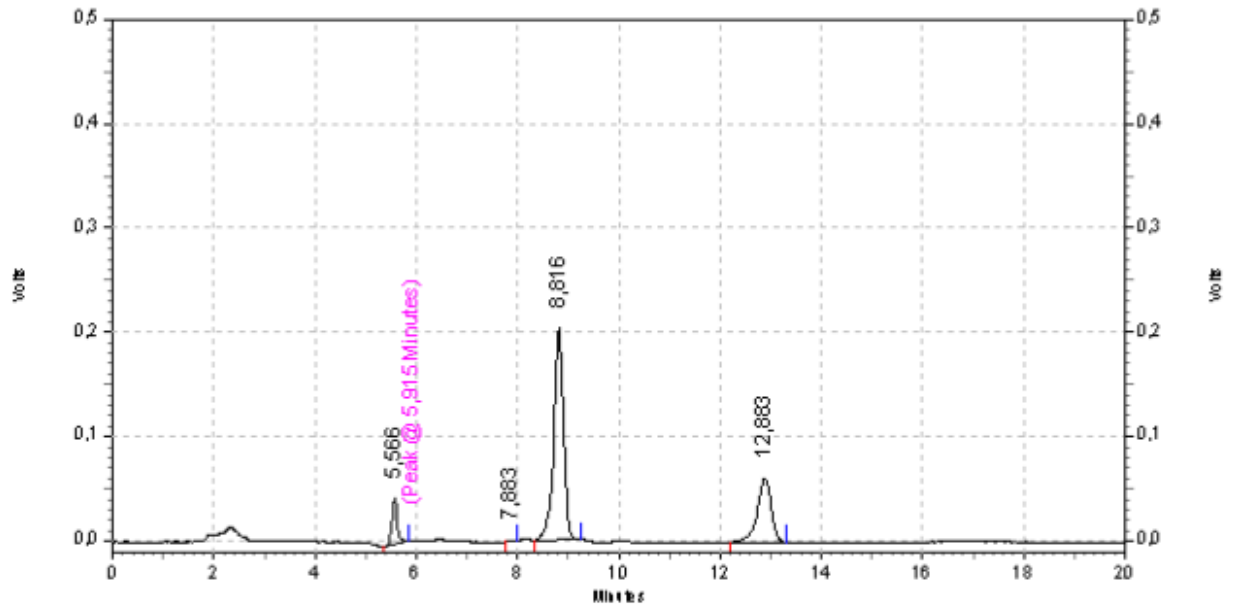
**ANEXO 43: Cromatograma del perfil de ácidos grasos de la estra A28 (aceite de ajonjolí)**



**ANEXO 44: Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra O25 (aceite de oliva)**



**ANEXO 45: Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra S22 (aceite de sachá inchi)**



**ANEXO 46: Cromatograma del perfil de tocoferoles de la muestra A26 (Aceite de ajonjolí)**

