

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

**« Influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la  
calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi  
(*Plukenetia volubilis* L.)»**

Tesis

Presentada por

Bach. Sara Sánchez Maxi

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero en Industrias Alimentarias

Tacna-Perú

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

**« Influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la  
calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi  
(*Plukenetia volubilis L.*)»**

Tesis sustentada y aprobada el 09 de abril del 2013; siendo el Jurado

Calificador integrado por:

PRESIDENTE:

\_\_\_\_\_  
Dra. Liliana Lanchipa Bergamini

SECRETARIO:

\_\_\_\_\_  
Mgr. Luis Alberto Marín Aliaga

VOCAL:

\_\_\_\_\_  
MSc. Marcial Castillo Cohaila

ASESOR:

\_\_\_\_\_  
MSc. Samuel Cerro Ruiz



## **DEDICATORIA**

A mi familia que siempre me inspira,  
sostiene y motiva a ser mejor cada día.

A mi madre por su inmensurable amor y fe en mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Esta investigación es el resultado de la experiencia y el esfuerzo desinteresado de muchas personas que contribuyeron en ella, y en especial a Dios quien me guió y permitió la realización de este trabajo.

A mi asesor MSc. Samuel Cerro Ruiz por la asesoría y guía incondicional.

A la Dra. Liliana Lanchipa Bergamini por su apoyo y motivación constante.

Al Ing. Guillermo Salazar por sus orientaciones y sus palabras de aliento.

Al Dr. Arístides Choquepuma por su orientación en el área estadística.

Al Dr. Miguel Ángel Larrea Céspedes y al Dr. José Trujillo por sus consejos en los análisis físico-químicos.

A todos los empresarios agroindustriales que colaboraron en este estudio.

A todos los docentes, personal administrativo, compañeros y estudiantes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, y muy en especial a aquellos de la EAP de Ingeniería en Industrias Alimentarias por su apoyo y participación en el trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>I. INTRODUCCIÓN-----</b>	<b>1</b>
<b>II. EL PROBLEMA-----</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Planteamiento del problema-----</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Formulación y sistematización del problema-----</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Delimitación de la investigación-----</b>	<b>4</b>
<b>2.4. Justificación-----</b>	<b>4</b>
<b>2.5. Limitaciones-----</b>	<b>5</b>
<b>2.6. Objetivos-----</b>	<b>6</b>
2.6.1. Objetivo general-----	6
2.6.2. Objetivos específicos-----	6
<b>III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-----</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Los frutos y granos oleaginosos-----</b>	<b>7</b>
3.1.1. El sachá inchi-----	8
3.1.1.1. Orígenes-----	9

3.1.1.2. Taxonomía-----	10
3.1.1.3. Descripción botánica-----	14
3.1.1.4. Producción y contexto económico-----	18
3.1.2. Composición de las almendras de sachá inchi-----	19
3.1.3. Uso-----	22
3.1.4. Interés nutricional del sachá inchi-----	24
<b>3.2. Procesos de transformación industrial de nueces y semillas oleaginosas-----</b>	<b>25</b>
3.2.1. Impacto del secado-tostado sobre el desarrollo del flavor-----	27
3.2.2. Impacto del secado-tostado sobre la oxidación de los lípidos---	28
3.2.3. Tipos de secado-tostado-----	33
3.2.3.1. Secado térmico-----	33
3.2.3.2. Tipos de secadores-----	34
3.2.4. El proceso de secado por fritura-----	35
3.2.4.1. Transferencia de calor y de materia-----	36
<b>3.3. Reacciones de oxidación de nueces y semillas oleaginosas--</b>	<b>44</b>
3.3.1. La oxidación de los lípidos-----	46
3.3.1.1. La lipólisis-----	47
3.3.1.2. La auto-oxidación-----	49
3.3.2. Productos de interacción entre los productos de alteración de	

lípidos y las proteínas-----	57
3.3.3. Factores promotores e inhibidores de la oxidación de los lípidos-----	59
3.3.3.1. Los iniciadores de la oxidación de los lípidos-----	60
3.3.3.2. Naturaleza y modo de acción de los antioxidantes-----	68
3.3.4. La isomerización trans de los lípidos-----	73
3.3.5. Métodos para evaluar el deterioro de los lípidos-----	77
3.3.5.1. Determinación del índice de acidez-----	78
3.3.5.2. Determinación del índice de peróxidos (IP)-----	78
3.3.5.3. Determinación del índice tiobarbitúrico (TBA)-----	80
3.3.5.4. Determinación del índice de yodo-----	81
3.3.5.5. Determinación del índice de la p-anisidina-----	82
3.3.5.6. Determinación de la absorbancia (espectrofotometría al UV a 232 y 270 nm)-----	83
<b>3.4. Impacto de los compuestos “neoformados” sobre la     seguridad alimentaria-----</b>	<b>87</b>
3.4.1. Toxicidad de los compuestos “neoformados”-----	87
3.4.2. Toxicidad y efectos fisiológicos de los compuestos neoformados-----	89

<b>3.5. Impacto de las reacciones de oxidación lipídica sobre la calidad nutricional de nueces y granos oleaginosos-----</b>	<b>97</b>
<b>3.6. Procesos de transformación industrial del sachá inchi en snack-----</b>	<b>100</b>
3.6.1. Recepción y selección-----	100
3.6.2. Almacenamiento o conservación-----	100
3.6.3. Descascarillado-----	101
3.6.4. Secado-Tostado-----	101
3.6.5 Saborizado-----	102
3.6.6. Enfriado-----	102
3.6.7. Envasado-----	102
3.6.8. Almacenado-----	103
<b>IV. HIPÓTESIS Y VARIABLES-----</b>	<b>104</b>
4.1. Formulación de la hipótesis-----	104
4.2. Identificación de variables e indicadores-----	104
4.2.1. Variables independientes-----	104
4.2.2. Variable dependiente-----	104
4.2.3. Indicadores-----	105
4.2.3.1. Indicadores de la variable dependiente-----	105

<b>V. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> -----	106
<b>5.1. Lugar de ejecución</b> -----	106
<b>5.2. Materia prima</b> -----	106
<b>5.3. Materiales y equipos</b> -----	107
<b>5.4. Métodos experimentales</b> -----	113
5.4.1. Delineamiento experimental-----	113
5.4.2. Procesamiento y análisis de datos-----	114
<b>5.5. Métodos analíticos</b> -----	116
5.5.1. Análisis proximal-----	116
5.5.1.1. Humedad-----	116
5.5.1.2. Lípidos-----	116
5.5.1.3. Proteínas-----	116
5.5.1.4. Fibra cruda-----	117
5.5.1.5. Cenizas-----	117
5.5.1.6. Carbohidratos totales-----	117
<b>5.5.2. Evaluación microbiológica</b> -----	118
5.5.3. Determinación del grado de oxidación de los lípidos-----	118
5.5.3.1. Índice de acidez-----	118
5.5.3.2. Índice de peróxidos-----	118

5.5.3.3. Absorbancia en el ultravioleta ( $\lambda$ 270 y 232)	119
5.5.3.4. Evaluación sensorial	120
<b>VI. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS</b>	<b>121</b>
<b>6.1. Materia prima</b>	<b>121</b>
6.1.1. Análisis proximal	121
<b>6.2. Producto terminado</b>	<b>123</b>
6.2.1. Diagrama de flujo definitivo	123
6.2.1.1. Recepción	124
6.2.1.2. Selección	124
6.2.1.3. Descascarillado	125
6.2.1.4. Secado-tostado	126
6.2.1.5. Escurrido	127
6.2.1.6. Salado	128
6.2.1.7. Enfriado	128
6.2.1.8. Envasado	129
6.2.1.9. Almacenado	129
6.2.2. Evaluación fisicoquímica	130
6.2.2.1. Índice de acidez	130
6.2.2.2. Índice de peróxidos	134

6.2.2.3. Absorción de la fracción lipídica al UV a 232 y 270nm-----	135
6.2.3. Evaluación estadística-----	144
6.2.3.1. Análisis físico-químico-----	144
6.2.3.2. Análisis sensorial-----	151
6.2.4. Evaluación microbiológica-----	154
6.2.5. Balance de masa-----	154
<b>VI. CONCLUSIONES-----</b>	<b>156</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES-----</b>	<b>158</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA-----</b>	<b>160</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>FIGURA N°01:</b>	Huacos fitomórficos-----	10
<b>FIGURA N°02:</b>	Especies del género Plukenetia-----	12
<b>FIGURA N°03:</b>	Semillas del género Plukenetia: A: <i>P. brachybotrya</i> ; B: <i>P. lorentensis</i> ; C: <i>P. volubilis</i> (PROCEDENCIA SAN MARTÍN); D: <i>P. volubilis</i> (PROCEDENCIA Cusco); E: <i>P. huallaybambana</i> ; F: <i>P. polyadenia</i> ----	13
<b>FIGURA N°04:</b>	Flores y frutos del sachá inchi-----	15
<b>FIGURA N°05:</b>	<i>P. huayllabambana</i> SP. NOV. (A) hojas, (B) fruto maduro, (C) semilla <i>P. volubilis</i> para comparación: (D) hoja, (E) fruto, (F) semilla. <i>P. huayllabambana</i> : (G) pistilo, (H) estambre, (I) parte de inflorescencia, (J) sección transversal del estambre-----	17
<b>FIGURA N°06:</b>	Efecto del secado-tostado sobre las nueces y semillas oleaginosas-----	26

<b>FIGURA N°07:</b>	Imágenes obtenidas por microscopía electrónica en transmisión mostrando la microestructura de almendras y castañas antes y después del proceso de secado-tostado-----	32
<b>FIGURA N°08:</b>	Esquema simplificado de las vías de alteración de los lípidos-----	45
<b>FIGURA N°09:</b>	Desarrollo de oxidación en aceites-----	53
<b>FIGURA N°10:</b>	Efecto de la actividad del agua sobre la velocidad de la oxidación de los lípidos-----	64
<b>FIGURA N°11:</b>	Diseño experimental-----	115
<b>FIGURA N°12:</b>	Flujograma de elaboración de las semillas de sacha inchi secadas-tostadas-----	123
<b>FIGURA N°13:</b>	Materia prima-----	124
<b>FIGURA N°14:</b>	Semillas partidas y enmohecidas-----	125
<b>FIGURA N°15:</b>	Cáscaras y semillas peladas-----	125
<b>FIGURA N°16:</b>	Proceso de secado por ebullición-----	126
<b>FIGURA N°17:</b>	Burbujeo (salida del agua)-----	127
<b>FIGURA N°18:</b>	Semillas escurridas-----	127
<b>FIGURA N°19:</b>	Semillas saladas-----	128
<b>FIGURA N°20:</b>	Semillas envasadas-----	129

<b>FIGURA N° 21:</b>	Curva del índice de acidez de los productos en almacenaje de 64 días-----	133
<b>FIGURA N° 22:</b>	Curva del índice de absorbancia $K_{232}$ de los productos en almacenaje de 64 días-----	139
<b>FIGURA N° 23:</b>	Curva del índice de absorbancia $K_{270}$ de los productos en almacenaje de 64 días-----	143

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>CUADRO N°01:</b> Producción nacional, superficie cosechada y rendimientos estimados por regiones (2005)-----	19
<b>CUADRO N°02:</b> Composición proximal de las almendras del sachachi-----	20
<b>CUADRO N°03:</b> Composición del sachachi en ácidos grasos-----	21
<b>CUADRO N°04:</b> Factores promotores e inhibidores de la oxidación de los lípidos-----	59
<b>CUADRO N° 05:</b> Niveles de las variables independientes estudiadas-	114
<b>CUADRO N° 06:</b> Análisis proximal de las semillas de sachachi crudas-----	122
<b>CUADRO N° 07:</b> Índice de acidez de los productos en almacenaje en 64 días-----	132
<b>CUADRO N° 08:</b> Índice de absorbancia $K_{232}$ de los productos en almacenaje en 64 días-----	138
<b>CUADRO N° 09:</b> Índice de absorbancia $K_{270}$ de los productos en almacenaje en 64 días-----	142

<b>CUADRO N° 10:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de acidez en el día 1-----	146
<b>CUADRO N° 11:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{232}$ en el día 1-----	147
<b>CUADRO N° 12:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{270}$ en el día 1-----	148
<b>CUADRO N° 13:</b>	Evaluación fisicoquímica (p valor < 0,05)-----	149
<b>CUADRO N° 14:</b>	Análisis de varianza de los resultados de la evaluación de la aceptación general de las semillas de sachá inchi-----	152
<b>CUADRO N° 15:</b>	Evaluación sensorial (p valor < 0,05)-----	153
<b>CUADRO N° 16:</b>	Balance de materia-----	155
<b>CUADRO N° 17:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de acidez en el día 16-----	193
<b>CUADRO N° 18:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de acidez en el día 32-----	194
<b>CUADRO N° 19:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de acidez en el día 48-----	195
<b>CUADRO N° 20:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de acidez en el día 64-----	196

<b>CUADRO N° 21:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{232}$ en el día 48-----	197
<b>CUADRO N° 22:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{270}$ en el día 48-----	198
<b>CUADRO N° 23:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{232}$ en el día 64-----	199
<b>CUADRO N° 24:</b>	Análisis de varianza de los resultados del índice de absorbancia $K_{270}$ en el día 64-----	200
<b>CUADRO N° 25:</b>	Análisis de varianza de los resultados de la evaluación del sabor de las semillas de sachá inchi-	202
<b>CUADRO N° 26:</b>	Análisis de varianza de los resultados de la evaluación de la crocantez de las semillas de sachá inchi-----	203
<b>CUADRO N° 27:</b>	Análisis de varianza de los resultados de la evaluación de la apariencia de las semillas de sachá inchi-----	204

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO N°01</b>	Método oficial para la determinación del índice de la p-anisidina----- 182
<b>ANEXO N°02</b>	Método oficial para la determinación de la absorbancia al UV (por espectrofotometría a 232 y 270nm)----- 185
<b>ANEXO N°03</b>	Análisis de peróxidos realizado por el laboratorio CITE Agroindustrial----- 190
<b>ANEXO N°04</b>	Análisis de varianza de los resultados de las evaluaciones fisicoquímicas----- 192
<b>ANEXO N°05</b>	Análisis de varianza de los resultados de la evaluación de los atributos sensoriales----- 201

## RESUMEN

Se ha estudiado la influencia del tiempo y temperatura de secado-tostado, sobre la calidad fisicoquímica del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Las semillas se descascararon y se sometieron a un proceso de secado-tostado por ebullición utilizando como medio de transferencia de calor un aceite vegetal. Se realizó el proceso de secado-tostado para tres temperaturas (130, 135 y 140° C) y tres tiempos de calentamiento (20, 25 y 30 min.) bajo el diseño estadístico factorial 3<sup>2</sup>. Los resultados experimentales obtenidos fueron evaluados mediante el análisis ANOVA al 95% de confianza. El análisis estadístico muestra que en la mayoría de los días de evaluación la temperatura de secado-tostado aparece como el factor más importante y más influyente sobre la oxidación de las semillas y el tiempo de proceso tiene por el contrario una influencia menor.

Se ha identificado que el tratamiento T2 (130°C-25min) es el que reporta una mejor calidad fisicoquímica y un mejor puntaje en el atributo “crocantez”; y el tratamiento T1 (130°C-20min) es el que tiene mejor “aceptación general” y un mayor puntaje en los atributos “apariencia” y “sabor”.

## INTRODUCCIÓN

El sachá inchi, es un fruto oleaginoso, con un alto valor nutritivo gracias a sus omegas 3, la calidad de sus proteínas y su cantidad de minerales. En la naturaleza este producto sufre un deterioro oxidativo lento debido a sus compuestos antioxidantes y a su cubierta leñosa, sin embargo una vez rotas las barreras naturales de protección, su deterioro es inminente.

El sachá inchi, conocido también como el “maní de los Incas”, fue cultivado y utilizado por nuestros ancestros. En la actualidad, es incluido en la dieta de los nativos de la amazonía peruana y desde hace varios años está siendo utilizado industrialmente en el mundo de la cosmética, de los complementos alimentarios y en la industria alimentaria como fuente de omega 3. En esta última, y con el fin de diversificar la oferta de productos, se presenta al sachá inchi en aceite crudo solo o mezclado con otros aceites vegetales, como ingrediente de mayonesas, en semillas enteras como snacks, y en harina.

Sin embargo hasta la fecha no se han reportado estudios científicos que validen la calidad fisicoquímica de todos estos productos y la preservación de sus componentes más publicitados y a la vez químicamente más inestables, los ácidos grasos poliinsaturados, excepto para el aceite prensado en frío, en el cual diversos investigadores del Perú y el mundo han dedicado esfuerzos.

Todos los productos alimenticios y en especial los que contienen ácidos grasos poliinsaturados sufren un deterioro con el transcurrir del tiempo, y en su paso por un proceso de transformación. La temperatura y el tiempo son factores que afectan directamente las cadenas carbonadas con insaturaciones provocando así el desprendimiento de radicales libres y convirtiendo los componentes altamente nutritivos en antinutrientes.

La presente tesis tiene como objetivo general determinar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*), y como objetivos específicos caracterizar la materia prima, identificar la temperatura y tiempo de secado-tostado que brinden una mejor calidad fisicoquímica a las semillas de sacha inchi tostadas y envasadas, y determinar las características fisicoquímicas de las semillas de sacha inchi tostadas evaluadas cada 16 días, por un tiempo de almacenaje de 64 días.

## **II. EL PROBLEMA**

### **2.1. Planteamiento del problema**

El sachá inchi, oleaginosa milenaria, presenta una cantidad importante, y una excelente proporción de los ácidos linolénico y linoleico, que hacen de ella un alimento altamente nutritivo.

Sin embargo, son estos mismos ácidos grasos esenciales los que la hacen muy susceptible al deterioro oxidativo.

Los empresarios agroindustriales nacionales ofertan el sachá inchi en snack (semillas descascarilladas y tostadas, saladas, picantes, dulces, y con coberturas de caramelo, chocolate, etc.), alegando que sus productos procesados contienen los mismos valores de ácidos grasos esenciales como los que se registran en su estado crudo, lo cual implica que no hay influencia de la temperatura y el tiempo de proceso de secado-tostado, principales factores intervinientes en dicho proceso, y que por lo tanto no existe oxidación de sus componentes en el proceso ni en el almacenaje.

## **2.2. Formulación y sistematización del problema**

¿Influyen la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)?

## **2.3. Delimitación de la investigación**

Este estudio delimita su investigación a la especie *Plukenetia volubilis* L. por ser la especie comercialmente más utilizada.

## **2.4. Justificación**

El estudio se justifica porque se podrá identificar si existe una influencia de la temperatura y tiempo de secado-tostado en la calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi, y qué combinación de estos factores de procesamiento (9 tratamientos del modelo factorial 3<sup>2</sup>) favorecen su calidad, en un periodo de evaluación de 64 días. Esto permitirá al consumidor conocer si la

alegación de los agroindustriales nacionales es certera, y si es posible encontrar una ausencia de la actividad oxidativa de los ácidos grasos esenciales en el proceso que implicaría los mismos valores de estos componentes en el producto final.

## **2.5. Limitaciones**

El estudio limita su tiempo de evaluación a 64 días, debido al presupuesto planificado para este estudio, que no podrá costear los análisis y múltiples repeticiones a realizar.

Asimismo los análisis físico-químicos que contempla el estudio se limitan a aquellos que son posibles de ser realizados en los laboratorios de la EAP de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

Se descartan otro tipo de limitaciones incluyendo el de la estacionalidad debido a que el sachá inchi no es un producto estacional, en general, es un producto que puede ser encontrado en todo el año (cosechas cada 20 días), con excepción de algunos ecotipos que solo se cosechan 2 veces por año (por ejemplo, el ecotipo de Junín).

## **2.6. Objetivos**

### **2.6.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*).

### **2.6.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar la materia prima.
2. Identificar la temperatura y tiempo de secado-tostado que ofrecen una mejor calidad fisicoquímica a las semillas de sachá inchi tostadas y envasadas.
3. Determinar las características fisicoquímicas de las semillas de sachá inchi tostadas evaluadas cada 16 días, por un tiempo de almacenaje de 64 días.

### **III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. Los frutos y granos oleaginosos**

Las nueces y las semillas oleaginosas son cultivadas en casi todo el mundo. Ellas son parte intrínseca de los esquemas alimentarios tradicionales en numerosas regiones del mundo donde existen una baja tasa de colesterol sanguíneo y una débil incidencia de enfermedades cardiovasculares.

A través de la historia, las nueces y las semillas oleaginosas han sido un producto alimenticio esencial en el mundo entero. Informes arqueológicos y antropológicos están llenos de referencias sobre las nueces y semillas oleaginosas, y revelan que han sido parte de regímenes alimentarios mesolíticos. Ellas han sido mencionadas en la Biblia y en otras literaturas de esos tiempos.

Generalmente, se le da el nombre de nueces y semillas oleaginosas a los frutos cuya cubierta dura encierra una almendra. Las semillas, son contenidas en el fruto de la planta y sirven a la reproducción de esta última. En nuestros días, las principales nueces y semillas oleaginosas a nivel mundial son la nuez, la avellana, la almendra, el anacardo, la castaña, el maní, las semillas de girasol y sésamo.

Las nueces y semillas oleaginosas contienen una gran cantidad de materias grasas, en varios casos ricas en ácidos grasos poliinsaturados. Ellas son una excelente fuente de magnesio, de cobre y de potasio, así como de una buena fuente de tiamina, de ácido fólico, trazas de hierro, de ácido pantoténico y de riboflavina. (Coudron, 2010).

### **3.1.1. El sachá inchi**

*Plukenetia volubilis* L. (sachá inchi), es una especie de la familia Euphorbiaceae que comúnmente se conoce como maní del monte, sachá maní o maní del inca, que desde años

ancestrales se ha utilizado como alimento en las poblaciones rurales, nativas y mestizas.

El sachá inchi se encuentra distribuido desde América central hasta Bolivia, en el caso de Perú, existe en estado silvestre en la selva, es natural de bosques tropicales húmedos y muy húmedos. Su territorio se extiende desde los 80 metros de altitud hasta los 1 500 m.s.n.m. se encuentra fundamentalmente en la selva alta y baja, donde se han colectado muestras en los departamentos de Madre de Dios, Huánuco, San Martín, Iquitos y Ucayali, en zonas con precipitaciones anuales promedio de 1084 mm<sup>3</sup> y temperaturas que oscilan entre los 10 y 36,6 °C (Brack, 1999).

#### **3.1.1.1. Orígenes**

Posiblemente fue cultivada por las culturas pre-incas y los Incas hace 3 000 a 5 000 años; por haberse encontrado en la tumba del Señor de Sipán (costa peruana), en huacos fitomórficos que representan al fruto

y la planta trepadora de sachá inchi, que fue llevada al Antisuyo (selva), durante el Imperio incaico.



**FIGURA N°01: HUACOS FITOMÓRFICOS**

Fuente: Instituto de Investigación de la Amazonía del Perú - IIAP (2011)

### **3.1.1.2. Taxonomía**

Según McBride (1951), mencionado por Vela (1995), la taxonomía del sachá inchi es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Spermatophyta

Sub. División: Angiospermae

Clase: Dicotiledónea

Orden: Euphorbiales

Familia: Euphorbiaceae

Género: Plukenetia

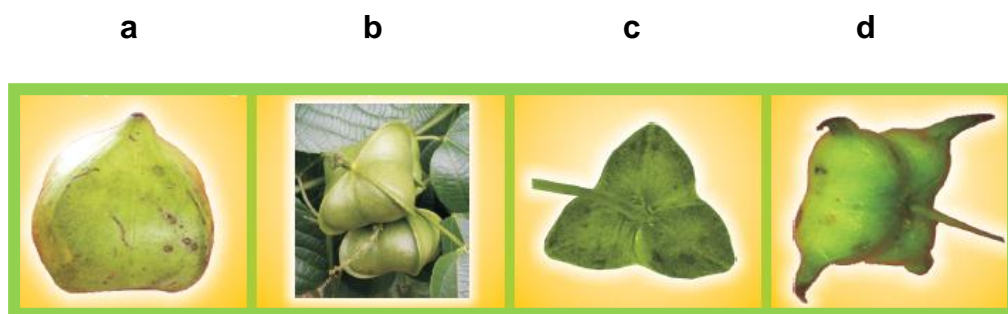
Especie: *volubilis* Linneo, *brachybotrya* Müll, *loretensis* Ule, *polyadenia* Müll y *huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn.

Nombre científico: *P. volubilis* Linneo, *P. brachybotrya* Müll. Arg (figura N°2c), *P. loretensis* Ule (figura N°2d), y *P. polyadenia* Müll. Arg (figura N°2a), *P. huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn (figura N°2b).

Nombres comunes: sachá inchi, inca inchi, sachá inchik, maní del monte, maní del Inca.

Hasta el año 2008 fueron descritas las 4 primeras especies mencionadas arriba. Recientemente, fue descrita para la región Amazonas, *P. huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn (Bussmann R.W. y Otros, 2009).

En su trabajo de investigación “Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats), Rodríguez (2010) estudia dos supuestos ecotipos de *P. volubilis* procedentes de San Martín y Cusco, y evidencia una nueva especie de sacha inchi en la región de Cusco.

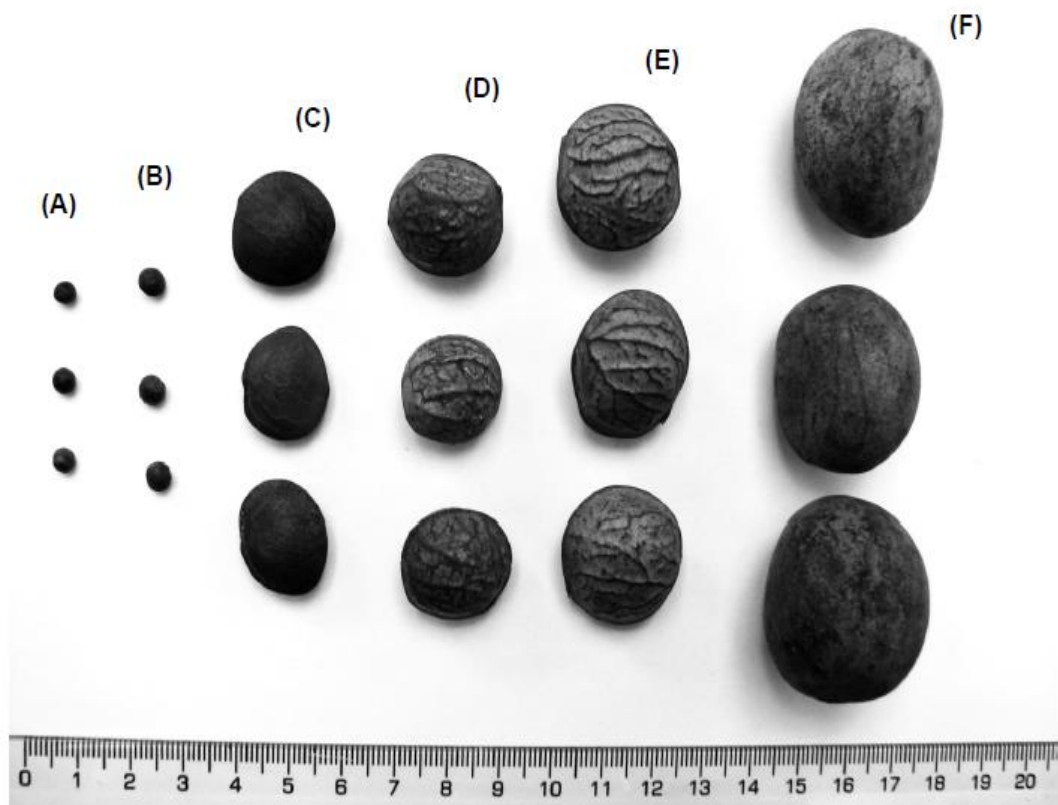


**FIGURA N°02: ESPECIES DEL GÉNERO PLUKENETIA**

Fuente: IIAP (2011)

La variabilidad en los caracteres morfológicos en *P. volubilis* fueron observados por Manco (2006), que reportó la existencia de 47 ecotipos.

La figura N° 03 muestra las diferencias a nivel del tamaño y forma de las semillas de sacha inchi entre las diferentes especies del género Plukenetia.



**FIGURA N° 03: SEMILLAS DEL GÉNERO *PLUKENETIA*:**

**A: *P. brachybotrya*; B: *P. lorentensis*; C: *P. volubilis* (PROCEDENCIA SAN MARTÍN); D: *P. volubilis* (PROCEDENCIA CUSCO); E: *P. huallaybambana*; F: *P. polyadenia*.**

*Fuente: IIAP (2011)*

### **3.1.1.3. Descripción botánica**

Según Arévalo (1996) la descripción es la siguiente:

#### **Planta**

Trepadora, voluble, semileñosa, de crecimiento indeterminado.

#### **Hojas**

Alternas, acorazonadas, aseruladas, trinervadas con una nervadura central dirigida al ápice acuminado, así mismo en la base del limbo presenta 2 glándulas laterales (albergando en las mañanas gotitas de azúcares orgánicos) y una pequeña proyección intermedia denominada estipela (muy variable en los diversos ecotipos).

#### **Flores**

Hermafroditas monoicas, las flores masculinas son pequeñas, blanquecinas y dispuestas en racimos, en la base del racimo y lateralmente se encuentran de una a

tres flores femeninas. En estas últimas, se aprecia que el número de estigmas es igual al número de ovarios.

### **Fruto**

Los frutos son cápsulas dehiscentes, distribuidos en lóculos. Cada fruto tiene un diámetro de 3-5 cm, y presenta un intenso color verde (figura N°04) que cambia a marrón durante la maduración. Presenta entre cuatro, cinco y hasta siete lóculos, en función a la variabilidad genética.



**FIGURA N°04: FLORES Y FRUTOS DEL SACHA INCHI**

Fuente: Sánchez (2008)

## **Semilla**

Las semillas se encuentran dentro de los lóculos de las cápsulas, miden de 15 a 20 mm. de ancho, por 7 a 8 mm de espesor. Su peso varía de 0,8 a 1,4 g.

En las semillas se encuentran los cotiledones a manera de almendras, cubiertas de una fina película blanquecina que cubre a la almendra que es la materia prima para diversos productos. Las semillas contienen de 33 a 54 % de aceite.

La composición de la semilla está distribuida entre 33 a 35% de cáscara y de 65 a 67% de almendra.

El tamaño y peso de las semillas varía de acuerdo al ecotipo. Encontrándose semillas de gran tamaño y superficie rugosa, hasta pequeñas de superficie lisa y manchadas. Ésta variabilidad está relacionada a las condiciones ambientales de las zonas de procedencia.

La figura N°05, presenta una comparación gráfica de los dos géneros comercialmente más importantes, *P. huayllabambana sp.* y *P. volubilis*.

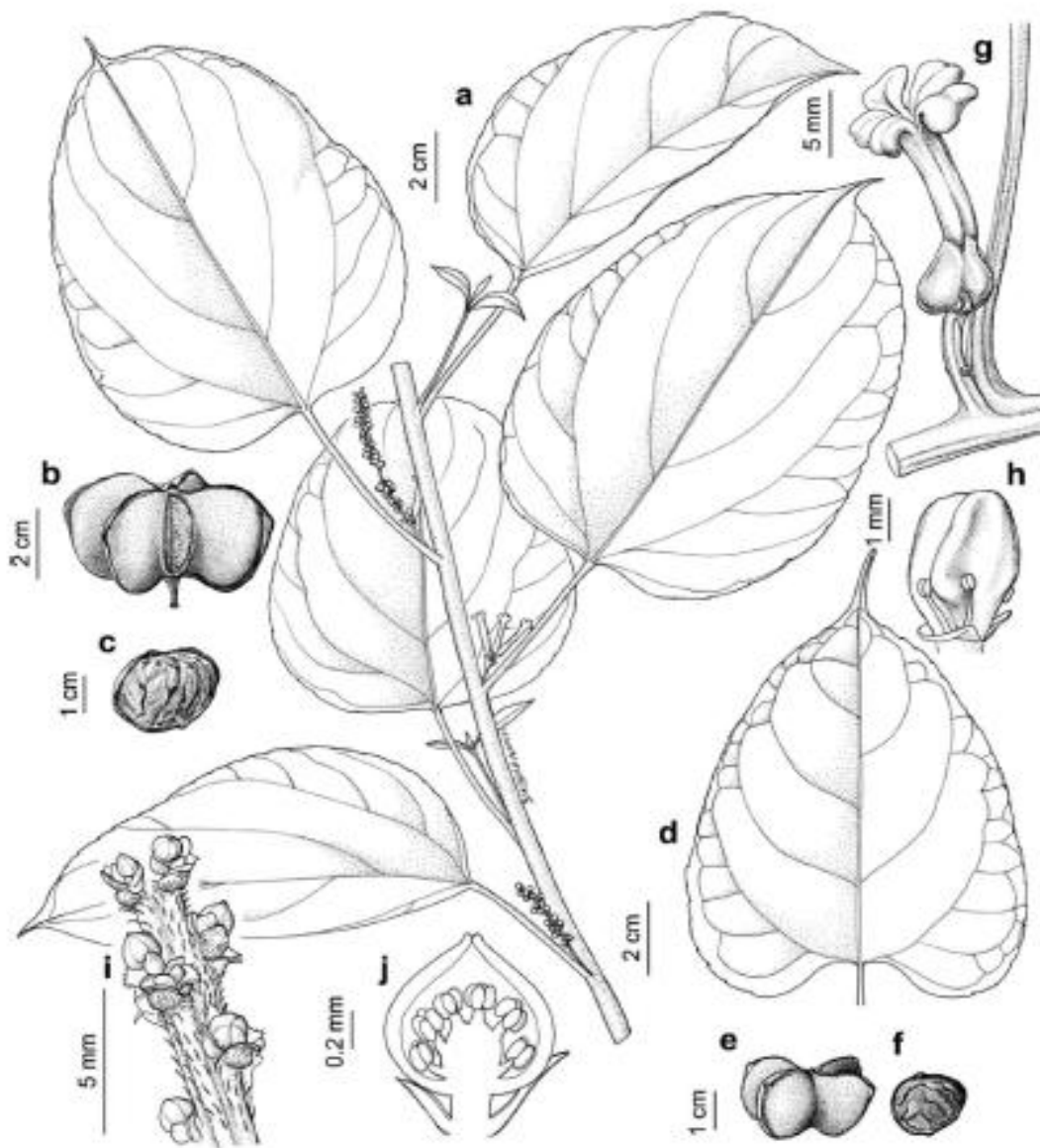


FIGURA N°05: *P. huayllabambana* SP. NOV. (A) HOJAS, (B) FRUTO MADURO, (C) SEMILLA. *P. volubilis* L. PARA COMPARACIÓN: (D) HOJA, (E) FRUTO, (F) SEMILLA. *P. huayllabambana*: (G) PISTILO, (H) ESTAMBRE, (I) PARTE DE INFLORESCENCIA, (J) SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ESTAMBRE.

Fuente: IIAP (2011)

#### **3.1.1.4. Producción y contexto económico**

El Instituto Nacional de Estadísticas del Perú (INEI) no registra la producción del sachá inchi en su base de datos para el año 2012, debido a que es un producto cuya producción no es aún importante en cantidad para ser considerada en las estadísticas del INEI, según señalan los funcionarios de las oficinas del INEI en Tacna.

Sin embargo la Oficina de Promoción de Comercio Exterior y Turismo del Perú (PROMPEX) en el año 2005, indicó que en los departamentos de Ucayali y San Martín se concentran la mayor parte de extensiones de cultivo de Sachá Inchi tal como se muestra en el cuadro N°01 que reporta la producción nacional, superficie cosechada y el rendimiento estimado por regiones.

**CUADRO N°01: PRODUCCIÓN NACIONAL, SUPERFICIE COSECHADA Y RENDIMIENTOS ESTIMADOS POR REGIONES (2005)**

<b>REGIÓN</b>	<b>PRODUCCIÓN TM</b>	<b>SUPERF. HAS</b>	<b>RENDIM. PROM. TM/Ha</b>
<b>UCAYALI</b>	<b>937,50</b>	<b>625,00</b>	<b>1,50</b>
<b>SAN MARTÍN</b>	<b>900,00</b>	<b>600,00</b>	<b>1,50</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1837,50</b>	<b>1225,00</b>	<b>3,00</b>

Fuente: PROMPEX (2005)

### **3.1.2. Composición de las almendras de sachá inchi**

En la composición de las almendras del sachá inchi destacan las proteínas y las grasas, que indican valores elevados según diferentes autores entre ellos Adriazén, N. y Otros (2011), según se muestra en el cuadro N°02.

**CUADRO N°02: COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS ALMENDRAS  
DEL SACHA INCHI**

<b>Componentes</b>	<b>Sacha inchi (%bh)</b>
Humedad	6,90
Proteínas	25,07
Grasa	45,00
Carbohidratos	6,76
Fibras	13,09
Cenizas	2,85
Otros	0,33

Fuente: Adriazén, N., Padilla, C., Linares, G. (2011)

Investigaciones realizadas en esta planta revelan contenidos superiores de aceite con respecto a las semillas de soya, maíz, maní, girasol, algodón, palma y oliva; el análisis de ácidos grasos del aceite revelan contenidos de ácido linoleico comparables al aceite de maní, ácido  $\alpha$ -linolénico (AAL) superiores a los aceites de soya, maíz, maní, girasol, algodón,

palma y oliva (Cuppett, 2001), y contenidos inferiores en AAL y ácido oleico al presentado por el aceite de linaza (*Linum usitatissimum*) (Guillén M. y Otros, 2003). Por lo cual tiene un elevado índice de iodo 198,8 g I<sub>2</sub>/100 g y un índice de saponificación de 191,6 mg KOH/g.

La composición en ácidos grasos se presenta en el siguiente cuadro según 3 fuentes diferentes.

**CUADRO N°03: COMPOSICIÓN DEL SACHA INCHI EN ÁCIDOS GRASOS**

<b>Ácidos grasos</b>	<b>FAO</b>	<b>Aitzetmueller, K. y Bruehl, L</b>	<b>Bondioli, P. y Otros</b>
Ácido palmítico	4,40%	3,80%	3,79%
Ácido esteárico	3,20%	2,90%	2,65%
Ácido oleico	9,60%	8,60%	8,77%
Ácido linoleico	36,80%	33,80%	33,67%
Ácido α-linolénico	45,10%	48,80%	50,73%

Fuente: FAO (2012) ; Aitzetmueller, K. y Bruehl, L. (2012) ; Bondioli, P. y Otros (2006)

Como consecuencia esta composición particular ocasiona los mismos problemas que el aceite de linaza en términos de una tendencia de oxidación y la estabilidad de almacenaje.

Por otro lado, su contenido en esteroides se encuentra en el rango de los aceites vegetales 2472 mg/kg, y su contenido total de tocoferoles encontrados por Bondioli P. y Otros (2006) fue de 2259 mg/kg. La composición fue de 63.3 % alpha, 36.7 % beta + gamma y trazas de delta.

### **3.1.3. Uso**

Desde hace muchos años, en la amazonía peruana las sociedades indígenas mayorunas, chayahuitas, ashanincas, shipiboconibas, yaguas y boras, mezclan el aceite con harina de la almendra y preparan una crema especial para revitalizar y rejuvenecer la piel. Los secoyas, candoshis, yaneshas, cashibos, dapanahuas y boras, lo consumen como nueces tostadas para recuperar fuerzas y como reconstituyente. Con el aceite frotan sus cuerpos para curar sus dolores musculares y reumáticos. Los sharanahua, yanasha, arahuaca, aguaruna,

arabela, chayahuita, yagua, shipibo-coniba, huitoto, murui, campa del gran pajonal, machiguenga, campaashaninca, mayoruna, quechua de San Martín, y quechua del Tigre, extraen artesanalmente el aceite de sacha inchi para uso alimentario y para combustible.

Los yaguas, cocama-cocamillas, shipibo-conibas y chayahuitas, consumen las hojas tiernas en forma de ensaladas, como parte de su dieta alimenticia.

En la actualidad este producto se ha industrializado y su uso se expandido a nivel mundial, en el mundo de la cosmética para la elaboración de cremas y demás productos cosméticos, en la industria de los complementos alimentarios y en la industria alimentaria como fuente de omega 3. En esta última y con el fin de diversificar la oferta de productos, se presenta al sacha inchi en aceite crudo envasados en botellas de vidrio oscuras solo o mezclado con otros aceites vegetales, como ingrediente de mayonesas elaboradas a partir de aceite de sacha inchi, en semillas enteras como snacks tostados u horneados saborizados con diferentes ingredientes envasados en bolsas de polietileno o aluminio trilaminado, y en harina en diversos envases.

#### **3.1.4. Interés nutricional del sachá inchi**

Tanto el sachá inchi como la linaza presentan cantidades considerables de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), los cuales son esenciales para el organismo humano (Barceló-Coblijn G. y Murphy EJ., 2009). Al respecto, se han descrito numerosos efectos cardioprotectores, anti-arrítmicos, antiinflamatorios, hipotensores, neuroprotectores, hipotriglicerodémicos e hipocolesterolémicos por parte del AAL (Acido Alfa Linolénico), así como su rol esencial en el organismo como precursor de ácidos grasos de cadena más larga EPA (ácido eicosapentanoico) y DHA (ácido docosahexanoico). Entre las fuentes ricas de AAL se encuentran la linaza, canola y colza, siendo la primera, la fuente comercial más importante a nivel mundial con numerosos estudios (Ihara-Watanabe M. y Otros,1999).

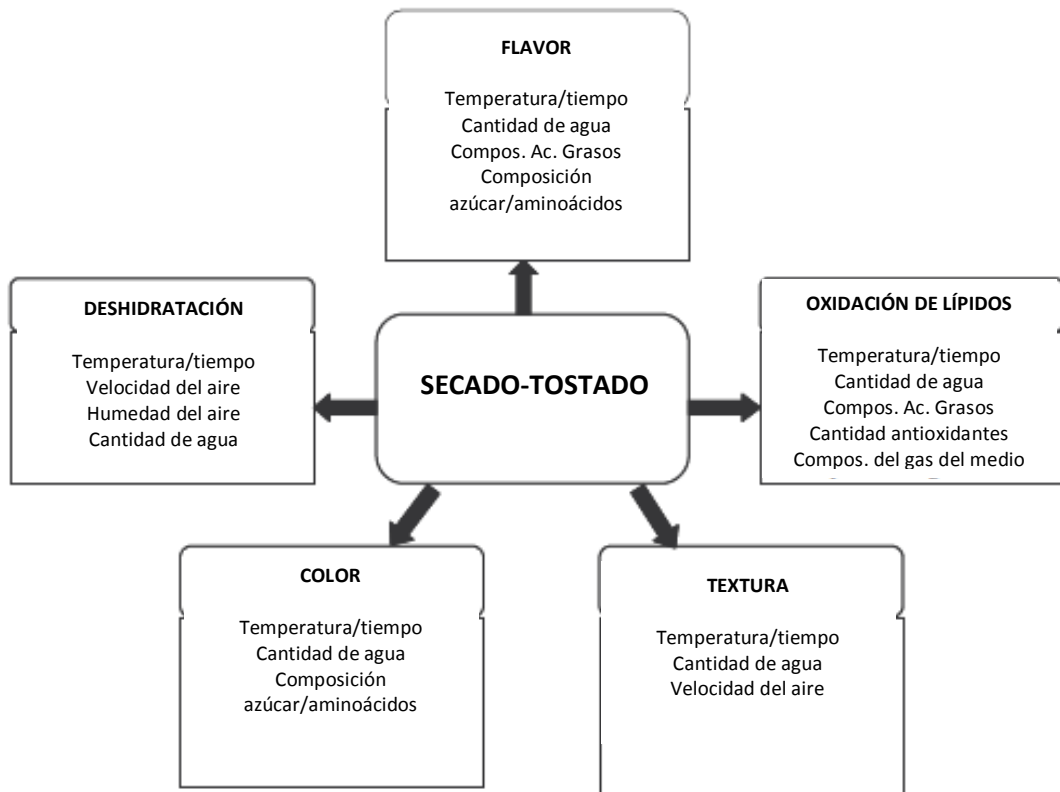
### **3.2. Procesos de transformación industrial de nueces y semillas oleaginosas**

El secado-tostado es una operación esencial y uno de los procesos de transformación más frecuente para nueces y semillas oleaginosas (Buckholz y Otros, 1980). Esta operación busca aumentar la palatabilidad del producto. Ella favorece significativamente el desarrollo del color, flavor, textura y apariencia de las nueces y granos. El producto resultante es refinado y muy apreciado por el consumidor en comparación a las nueces y semillas crudas (Mayer, 1985; Saklar, 1999).

El secado-tostado destruye igualmente los microorganismos indeseables e inactiva la mayor parte de las enzimas que favorecen el deterioro del producto en el almacenaje (Buckholz y Otros, 1980). Además, este proceso puede dar nacimiento a compuestos antioxidantes, de tipo melanoidinas formadas en el curso de la reacción de Maillard (Machiels e Istasse, 2002).

El tiempo y la temperatura son los principales factores controlados al momento de la operación de secado-tostado. Esta dupla tiempo/temperatura juega un rol importante en el desarrollo de

la calidad sensorial de las nueces y semillas oleaginosas (figura N°06), donde la calidad organoléptica es el factor clave de elección de los consumidores (Chiou y Tsai, 1989; Saklar, 1999).



**FIGURA N°06: EFECTO DEL SECADO-TOSTADO SOBRE LAS NUECES Y SEMILLAS OLEAGINOSAS.**

Fuente: Yaacoub (2009).

### **3.2.1. Impacto del secado-tostado sobre el desarrollo del flavor**

El secado-tostado favorece considerablemente el desarrollo del flavor, aumentando así la palatabilidad de nueces y semillas oleaginosas (Mayer, 1985; Buckholz y Otros, 1980; López y Otros, 1997). Los monosacáridos y los aminoácidos libres, liberados por hidrólisis de los polipéptidos y de los glúcidos complejos al momento de un proceso de secado-tostado, constituyen precursores esenciales en las reacciones de Maillard, responsables de la formación de las pirazinas (Mason y Otros, 1966). Las pirazinas están bien caracterizadas como compuestos volátiles responsables del aroma característico de los alimentos tostados. Aunque ellas son volátiles en sistemas acuosos, las pirazinas son absorbidas y retenidas por los lípidos de las nueces y semillas oleaginosas (Hashim y Chaveron, 1996). Los compuestos volátiles son responsables del aroma de los maníes tostados con más de 300 compuestos mezclados (Ahmed y Young, 1982).

Las diferentes clases de productos aromáticos de estructura compleja productos de reacciones de Maillard y de Strecker, tales como los aldehídos, las pirazinas y los fragmentos de

azúcar, dependen mucho de la composición en aminoácidos (Cammarn y Otros, 1990). Los cambio que afectan los aminoácidos durante el secado-tostado de nueces y semillas oleaginosas dependen de la naturaleza del tratamiento térmico, la temperatura interna y el tenor de agua de los granos (Chiou y Otros, 1991).

### **3.2.2. Impacto del secado-tostado sobre la oxidación de los lípidos**

Durante el secado-tostado de nueces y semillas oleaginosas, la temperatura alcanza valores elevados, superiores a 100°C acelerando las reacciones de autooxidación. De hecho, el secado-tostado de los maníes inicia y aumenta la oxidación de los lípidos así como la formación de compuestos carbonilados (Bett y Bobylston, 1992).

La temperatura de las castañas a la salida del proceso, y su duración de exposición al aire antes de ser envasada y el almacenaje influyen mucho sobre el tiempo de vida de las castañas tostadas (Perren y Otros, 1996). Sin embargo, la temperatura de secado-tostado aparece como el factor más

importante y más influyente sobre la oxidación de los lípidos de las nueces y semillas oleaginosas: las tasas de oxidación de las nueces y semillas oleaginosas aumentan considerablemente con la elevación de la temperatura de proceso. La duración del proceso tiene por el contrario una influencia menor sobre los niveles de oxidación y el tiempo de vida posterior, por lo cual la duración del proceso de secado-tostado largos asociados a temperaturas moderadas (130-150°C) son en general recomendadas para obtener una estabilidad oxidativa óptima (Perren y Escher, 2007).

De otro lado, la aplicación de temperaturas elevadas en el proceso de secado-tostado destruyen la micro estructura de las células de nueces y semillas oleaginosas (Saklar y Otros, 2003). De hecho, en los granos intactos, las células de almacenaje de lípidos presentan un tejido endoplásmico como estructura de panal de abejas. Los lípidos son almacenados entonces a nivel de las cavidades subcelulares en las estructuras especializadas llamadas oleosomas (1 a 2  $\mu\text{m}$  de diámetro) contorneados de una monocapa de fosfolípidos. Esta estructura y organización subcelular reduce fuertemente la

accesibilidad del oxígeno a través de los poros extracelulares, y limita como consecuencia la oxidación lipídica.

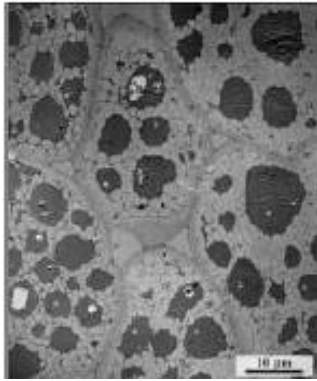
Al momento del secado-tostado, la integridad celular es dañada: la red endoplásmica es rota y los oleosomas desintegrados. Así mismo, las uniones intercelulares son alteradas y la superficie interna dañada (figura N°07) (Saklar y Otros, 2003). Esto aumenta la difusión del oxígeno hasta el interior del grano y pone el sustrato en contacto con las enzimas, favoreciendo así las reacciones de oxidación enzimática como no enzimática, y reduciendo la estabilidad oxidativa de las nueces y semillas oleaginosas tostadas durante el almacenaje (Perren y Otros, 1996).

Chun y Otros (2005) han mostrado que los maníes tostados eran menos estables en el almacenaje que los maníes crudos: bajo las mismas condiciones de almacenaje (21°C, bajo atmósfera normal), el índice de peróxidos llegó a 47mEq/kg después de solamente 12 semanas en los maníes tostados, mientras que aquel de los maníes crudos estaba por debajo de un valor de 2mEq/kg incluso 38 semanas después. Así mismo, 90% de la vitamina E se degradó después de las 12 semanas de almacenaje en los maníes tostados, mientras que más del

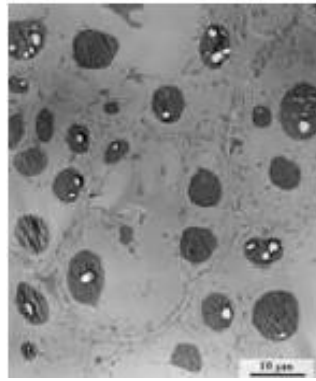
70% quedó intacta después de 38 semanas en los cacahuates crudos.

Una buena adaptación del tratamiento térmico durante el secado-tostado favorecería entonces un tiempo de vida más largo de nueces y semillas oleaginosas tostadas. Recientemente, un proceso de secado-tostado en dos etapas (two-step process), utilizando una temperatura de operación relativamente débil (cerca a 130°C) durante la primera fase a fin de plastificar el producto, seguido por un periodo de proceso más largo y con temperaturas más elevadas (pero tan bajas como sea posible), ha sido propuesto para limitar la oxidación durante y después del secado-tostado de nueces y semillas oleaginosas (Perren y Escher, 2007).

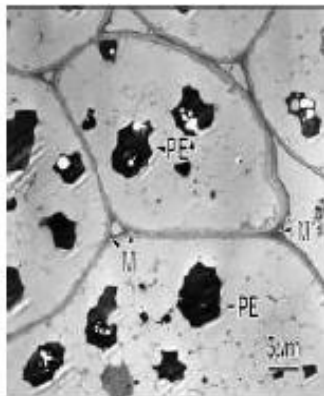
Ese proceso de dos etapas permite minimizar el aumento de la talla de los poros intracelulares al momento del secado-tostado, aumentando así la estabilidad oxidativa del producto terminado y alcanzando la calidad organoléptica deseada (Perren y Escher, 2007).



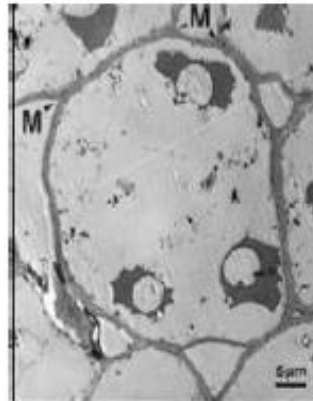
Almendras crudas



Almendras tostadas  
(150°C x 25 min)



Castañas crudas



Castañas tostadas  
(150°C x 25 min)

**FIGURA N°07: IMÁGENES OBTENIDAS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA EN TRANSMISIÓN MOSTRANDO LA MICROESTRUCTURA DE ALMENDRAS Y CASTAÑAS ANTES Y DESPUÉS DEL PROCESO DE SECADO-TOSTADO.**

Fuente: Saklar (2003)

### **3.2.3. Tipos de secado-tostado**

La eliminación de agua de un producto alimentario puede hacerse por diferentes vías:

- 1) Mecánica: centrifugación, filtración, ultrafiltración, prensado.
- 2) Térmica: ebullición, arrastre.

#### **3.2.3.1. Secado térmico**

##### **1) Secado térmico por ebullición**

El secado por ebullición es un secado sin aire, y genera un menor consumo energético.

En este proceso se lleva el producto a una temperatura suficiente para que la presión de vapor de agua del producto sea igual a la presión del ambiente. El aporte de calor aquí se da por conducción, convección y/o radiación.

## **2) Secado térmico por arrastre**

En este tipo de secado el calor es aportado por aire caliente.

### **3.2.3.2. Tipos de secadores**

#### **Secadores por ebullición**

Entre los equipos y medios de secado por ebullición podemos encontrar los siguientes:

- Armario al vacío
- Tornillo sin fin
- Liofilizador al vacío
- Secado por fritura
- Secado por microondas

#### **Secadores por arrastre**

Entre los equipos y medios de secado por arrastre podemos encontrar los siguientes:

- Bandeja
- Bandas
- Aspersión
- Lecho fluidizado

#### **3.2.4. El proceso de secado por fritura**

El proceso de fritura consiste en sumergir el alimento en aceite o grasa caliente a altas temperaturas y a presión atmosférica, estas temperaturas son muy superiores al punto de ebullición del agua a esta presión. La diferencia de temperatura entre el alimento y el aceite desencadena un proceso simultáneo de transferencia de calor y de materia. El calor es transferido del aceite al alimento y sirve para evaporar el agua del alimento, pasando al aceite como burbujas de vapor; además, el aceite va a penetrar en el alimento. Al mismo tiempo las propiedades físicas del alimento varían con los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo (Moreira, 2001; Vitrac y Otros, 2000).

Durante el proceso de fritura tienen lugar multitud de cambios físicos, químicos y nutricionales en el alimento. Estos cambios dependen, entre otros factores, de la humedad y del tipo de alimento, de la calidad de aceite utilizado y de la temperatura del proceso, así como del tiempo de residencia del producto en el aceite caliente (Dobarganes y Otros, 2000; Moreira, 2001).

#### **3.2.4.1. *Transferencia de calor y de materia***

La fritura involucra simultáneamente los mecanismos de transferencia de masa y de calor (Moreira, 2001).

Al sumergir el alimento en el aceite caliente la transferencia de calor se realiza por dos mecanismos: conducción y convección. La transferencia de calor por conducción, bajo condiciones no estacionarias, tiene lugar en el interior del alimento. La magnitud de esta transferencia está influenciada por las propiedades térmicas del alimento y éstas pueden cambiar durante el

proceso. La convección ocurre entre el aceite caliente y la superficie del alimento (Singh, 1995).

La transferencia de materia durante la fritura está caracterizada, principalmente, por el movimiento del agua en forma de vapor, del alimento al aceite, y por el movimiento del aceite al alimento. Esta transferencia de materia es impulsada por la transferencia de calor del aceite al alimento, por ello es inevitable describir ambos fenómenos de transferencia de forma conjunta.

Como resultado de los fenómenos de transferencia que tienen lugar en la fritura, el producto final presenta dos regiones características: la costra o superficie deshidratada, en la cual se producen los principales cambios, y el interior del alimento donde la temperatura no sobrepasa la temperatura de ebullición del agua a esa presión (Dobarganes y Otros, 2000; Singh, 1995).

Cuando el alimento ingresa en el aceite caliente, el calor de éste es transferido al alimento, el cual rápidamente se calienta y cuando el agua alcanza su punto de ebullición empieza a evaporarse y pasa al aceite.

Por este motivo la fritura puede considerarse como un proceso de deshidratación (Stier, 2004) y el comportamiento de la cinética de transferencia de agua es similar al producido en cualquier proceso de deshidratación, como puede ser el llevado a cabo utilizando aire caliente (Baumann y Escher, 1995).

Farkas y Otros (1996) distinguen tres periodos durante la fritura atendiendo a la transferencia de calor y agua. Primero tiene lugar la etapa de calentamiento del alimento. Esta etapa se inicia con la inmersión del alimento en el aceite caliente a alta temperatura y termina cuando la superficie del alimento alcanza la temperatura de ebullición del agua superficial. Como se indicó antes, el calor es transferido por convección natural desde el aceite hacia la superficie del alimento y por conducción desde la superficie al interior del mismo. Tiene una duración muy corta y se caracteriza porque todavía no se detecta la presencia de burbujas de vapor de agua. Esta etapa se identifica con la de velocidad de secado creciente.

En la segunda etapa la cantidad de calor transferido es suficiente para que el agua presente en la superficie del

alimento alcance condiciones de ebullición; esto produce un incremento en el coeficiente de transferencia de calor por convección, resultando un aumento del calor transferido al alimento y, por lo tanto, la pérdida de agua del alimento también se incrementa, ocasionando que se pueda observar como una explosión de burbujas de vapor. En esta etapa empieza formarse la costra en la superficie del alimento y se identifica con la de velocidad de secado constante. Se trata de una etapa muy breve o incluso inapreciable al evaporarse el agua superficial muy rápidamente.

La tercera etapa, también conocida como etapa de velocidad decreciente, es la de mayor duración. Durante esta etapa la temperatura del interior del alimento es cercana al punto de ebullición del agua existente en el mismo y se elimina la mayor cantidad de agua de su interior. Dado que la costra sigue aumentando de espesor, y por su baja conductividad térmica, disminuye la transferencia de calor y, por ende, la salida de agua del interior del alimento. El fin de esta última etapa, conocido como punto final de la ebullición, se produce cuando

aparentemente ya no se aprecia la salida de burbujas de vapor del alimento. Esto puede ser ocasionado por la reducción de la transferencia de calor en la interfase costra e interior del alimento, o por la eliminación total del agua del alimento.

La cinética de absorción de aceite por parte del producto es más compleja, porque mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el paso del aceite al interior del mismo, y sólo cuando disminuya la salida del vapor el aceite podrá transferirse al alimento, si bien dependerá de las propiedades de permeabilidad de la costra formada en la superficie del alimento. Así, cuando el alimento es retirado del aceite caliente y empieza el enfriamiento, la presión del vapor disminuye y produce un efecto de succión, ayudando a que el aceite depositado en la superficie del alimento pueda atravesar la costra (Vitrac y Otros, 2000). Moreira y Otros (1995) observaron que mientras transcurre el tiempo de fritura aumenta la cantidad de aceite que se encuentra en la superficie del alimento (en su caso en tortillas de maíz) y que el contenido final de aceite en el alimento se

incrementa considerablemente en el período de enfriamiento y está regido por fuerzas capilares.

Los principales parámetros que influyen en la pérdida de agua y la absorción de aceite son la temperatura y el tiempo de fritura (Dobarganes y Otros, 2000; Moreira, 2001). Otros parámetros a considerar son la forma del alimento y la relación entre el tamaño del producto y la superficie expuesta al medio circundante.

Así, Baumann y Escher (1995) exponen que al incrementar la temperatura la velocidad de deshidratación aumenta, reduciéndose el tiempo de fritura; en cambio, al aumentar el espesor del producto se incrementa el tiempo. Para Krokida y Otros (2000) el transporte de agua y aceite es más intenso cuanto mayor es la temperatura del aceite y menor el espesor de la muestra. Por ejemplo, si el alimento se procesa en láminas, aquellas más gruesas presentan una menor área específica, reduciéndose el área relativa disponible para perder el agua; también el camino interno que tiene que recorrer el agua es más largo y se requiere más calor para evaporar dicha agua, además la corteza que se

forma impide que el agua salga con facilidad (Costa y Oliveira, 1999).

Gamble y Otros (1987) observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura, sino con la humedad residual del alimento. Esto lo corroboran Moreira y Otros (1995) que demuestran que la mayor retención de aceite en el producto tiene lugar cuando la mayor cantidad de agua ha salido del mismo. Además, la pérdida de agua no es uniforme en el producto, primero ocurre en la superficie y, según transcurre el calentamiento, gradualmente va afectando al interior del mismo. Por ello, la absorción de aceite tiene lugar en mayor grado a nivel superficial (Costa y Oliveira, 1999).

Yamsaengsung y Moreira (2002) indican que cuando la temperatura del aceite es alta, el secado es más rápido, además la temperatura y presión del producto aumentan rápidamente. La absorción de aceite empieza a tener lugar cuando la temperatura del producto se incrementa y empieza a formarse la costra. Si el espesor del producto es más grueso, disminuye el contenido de aceite en el

interior del mismo. El contenido de aceite se ve afectado también por la temperatura a la que se enfríe el producto, si es a una temperatura cercana a la del producto no absorberá mucha cantidad de aceite.

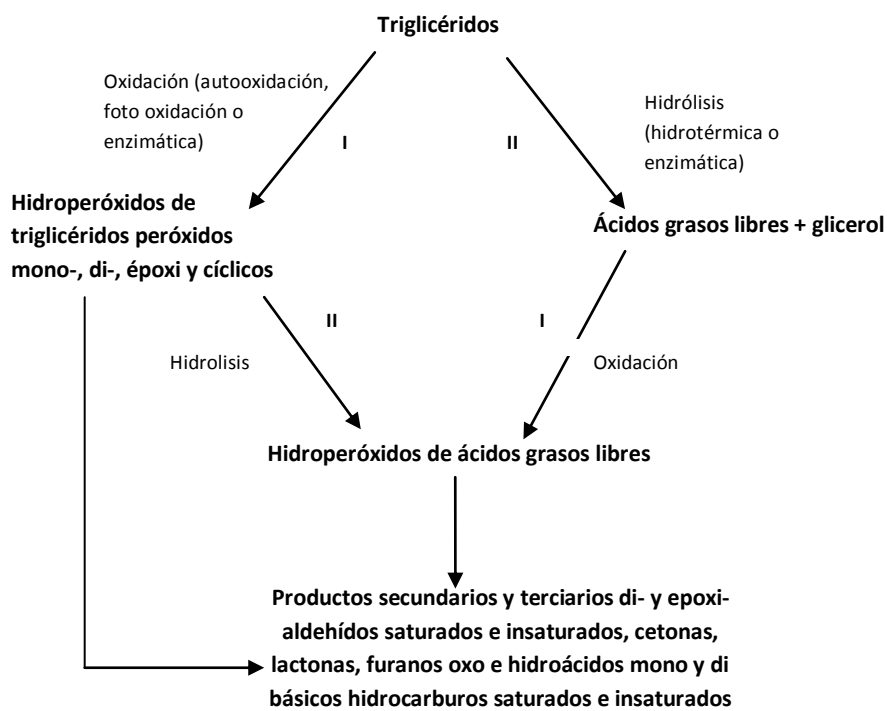
Finalmente, y en lo referente a la influencia del tipo de aceite sobre la velocidad de absorción del mismo, de acuerdo con Dobarganes (2000) la absorción de aceite depende en mayor grado de la calidad del aceite que del tipo de aceite utilizado en el proceso.

### **3.3. Reacciones de oxidación de nueces y semillas oleaginosas**

Los granos y frutos oleaginosos se distinguen por un tenor elevado en lípidos (alrededor del 50%), compuestos esencialmente de ácidos grasos insaturados. Estos ácidos grasos poseen múltiples propiedades nutricionales y son implicados en la prevención de numerosas enfermedades cardiovasculares y cancerígenas. Sin embargo, ellos son muy sensibles a las reacciones de oxidación. La hidrólisis y la oxidación son las principales vías de alteración de los lípidos en el curso de la producción, del almacenado y de la transformación de los frutos oleaginosos (figura N°08). Estas modificaciones afectan el tiempo de vida, la calidad organoléptica, nutricional y la seguridad alimentaria de los frutos.

Los frutos oleaginosos contienen lípidos funcionales y de reserva. Los lípidos de reserva consisten esencialmente en triglicéridos que sirven de fuente de energía movilizados por las necesidades del grano. Los lípidos funcionales consisten en fosfo-, glico-, y sulfo-lípidos, esteroides y sus derivados, etc., funcionan a nivel de membranas, organelos sub-celulares, u otras partículas especializadas. La oxidación de lípidos de reserva constituye la

fuente mayor de malos olores y de deterioro de la calidad de frutos oleaginosos transformados (Ory, R. L. y Otros, 1985).



**FIGURA N°08: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LAS VÍAS DE ALTERACIÓN DE LOS LÍPIDOS**

Fuente: Yaacoub (2009)

Los factores que afectan la estabilidad de los lípidos de las nueces y granos incluyen la manipulación en el transporte, la transformación industrial y los factores ambientales durante la

distribución. Ellos comprenden el contacto de la luz con el grano, el nivel de oxígeno presente durante el almacenaje, la presencia de metales catalizadores de la oxidación, la humedad alrededor del grano, y la cantidad de calor a la cual es expuesto el grano durante el tostado (O'keefe y Otros, 1993). Controlar todos esos factores tiene una gran importancia a fin de mantener una buena calidad del producto final.

### **3.3.1. La oxidación de los lípidos**

La oxidación de lípidos puede resultar de muchas vías reaccionales en función del medio y de los agentes iniciadores: la lipólisis u oxidación enzimática iniciada por la lipooxigenasa tiene sobre todo lugar en los frutos crudos, antes de la transformación industrial (cosecha, transporte, secado, blanqueamiento, almacenaje (St Angelo, 1996).

La auto-oxidación catalizada por la temperatura, los iones metálicos, los radicales libres tiene, sobre todo, lugar durante y después de la transformación industrial de las nueces y granos (St Angelo, 1996).

### **3.3.1.1. La lipólisis**

La hidrólisis de lípidos es principalmente el resultado de enzimas lipolíticas. La enzima principalmente implicada es la lipooxigenasa (St Angelo, 1996). La lipooxigenasa cataliza la inserción de una molécula de oxígeno sobre un ácido graso insaturado según una reacción estereoespecífica, y termina en la formación de hidroxiperóxidos. Ella actúa específicamente sobre los ácidos grasos no esterificados. Su actividad es entonces a menudo unida a aquella de las lipasas y fosfolipasas.

En las nueces y granos oleaginosos, se trata de lipasas, de fosfolipasas y de esterasas. Las lipasas y las esterasas hidrolizan las uniones ésteres de los glicéridos y los liberan a partir de triglicéridos de ácidos grasos, de diglicéridos y de los monoglicéridos. Los ácidos grasos libres formados pueden luego servir de sustratos por las reacciones de oxidación (López y Otros, 1997). Sin embargo, esas enzimas lipolíticas situadas justo bajo la película de las nueces y granos oleaginosos no pueden atacar los lípidos en las células no dañadas a causa de la

estructura particular de los oleosomas (empaquetadura y protección de los lípidos de reserva) (Riedl y Mohr, 1979).

Esas activas enzimas son independientes del oxígeno, y aquellas como las lipasas, dependen en primer lugar del tenor en agua. El grado de madurez del grano determina el nivel de actividad de las lipasas. El tostado reduce significativamente esta actividad (Grosch y Otros, 1983). Sin embargo, las esterasas son estables al calor y pueden quedar activas incluso después del tostado (Keme y Otros, 1983). Esto puede efectuarse incluso en condiciones de  $A_w$  muy baja. Visto que el tostado reduce la microestructura de las nueces y semillas oleaginosas, esas enzimas pueden encontrarse en contacto íntimo con sus sustratos, los lípidos, reduciendo entonces la estabilidad de las nueces y granos tostados en el curso del almacenaje.

La oxidación enzimática puede tener lugar a baja temperatura. Las lipooxigenasas y las peroxidases pueden ser activadas por rupturas a nivel de membranas celulares, causadas por los daños físicos en las nueces o semillas oleaginosas, poniendo la enzima y el sustrato en

contacto (Keme y Otros, 1983). Cuanto más la duración del almacenamiento antes de la transformación industrial es larga, más será pronunciado el deterioro enzimático (Ory y Otros, 1985). Las lipooxigenasas son inactivadas a temperaturas superiores a 60°C, temperatura a partir de la cual la oxidación no enzimática es favorable.

La lipólisis ocurre tanto en las oleaginosas como en lácteos, carne y pescado, y en ciertos productos puede considerarse favorable.

### **3.3.1.2. *La auto-oxidación***

En el caso del calentamiento de los alimentos ricos en lípidos, los fenómenos oxidativos ponen en juego las reacciones complejas, que asocian una degradación oxidativa (autooxidación) y una degradación térmica de ácidos grasos libres o esterificados. La autooxidación de los ácidos oleicos (C18:1 n-9) y linoleicos (C18:2 n-6) producen la mayoría de las sustancias rancias en las avellanas (Grosch y Otros, 1983; Keme y Otros, 1983),

mientras que en los maníes, es el ácido linoleico (C18:2 n-6) el que es el más afectado (Mate y Otros, 1996).

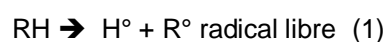
La oxidación de los lípidos es una reacción auto-catalítica. Se trata de un encadenamiento de reacciones radicales que se desarrollan en tres etapas. Una primera reacción produce un radical libre por la eliminación de un hidrógeno lábil del ácido graso insaturado (iniciación), la mayoría de las veces adyacentes al doble enlace. Porque las reacciones se encadenan para producir muchas especies radicales derivadas del ácido graso (propagación) que se combinan para formar compuestos no radicales (terminación).

### **Mecanismo reaccional de la oxidación (según Bolland y Gee, 1946)**

#### **Iniciación**

En presencia de un iniciador (1), los lípidos insaturados (RH) pierden un átomo de hidrógeno para

formar sobre el ácido graso afectado, un radical graso libre centrado sobre el carbono ( $R^\circ$ )



### ***Propagación***

El radical graso libre, muy reactivo, fija una molécula de oxígeno, para formar un radical hidropéroxilo inestable, centrado sobre el oxígeno (2). Este arranca un hidrógeno lábil de un segundo ácido graso, formando un hidroxiperóxido no radical más estable (3), pero generando una nueva especie radical sobre el segundo ácido graso.



Topallar y Otros (1997) han demostrado que la sensibilidad de los ácidos grasos insaturados a la oxidación depende de la capacidad del hidrógeno alílico para actuar con un radical hidroxiperóxilo. El ácido linoleico (C18:2 n-6), después de la acción del oxígeno, da esencialmente 2 hidropéroxidos isómeros. Los hidropéroxidos conjugados, que resultan desde el inicio

de un hidrógeno alílico (13-OOH y 9-OOH) son mucho mayoritarios en función de otros (12-OOH y 10-OOH). El ácido linolénico (C18:3 n-3) forma también hidroperóxidos 9-OOH, 12-OOH, 13-OOH, 16-OOH, las formas 16-OOH y 9-OOH son mayoritarias.

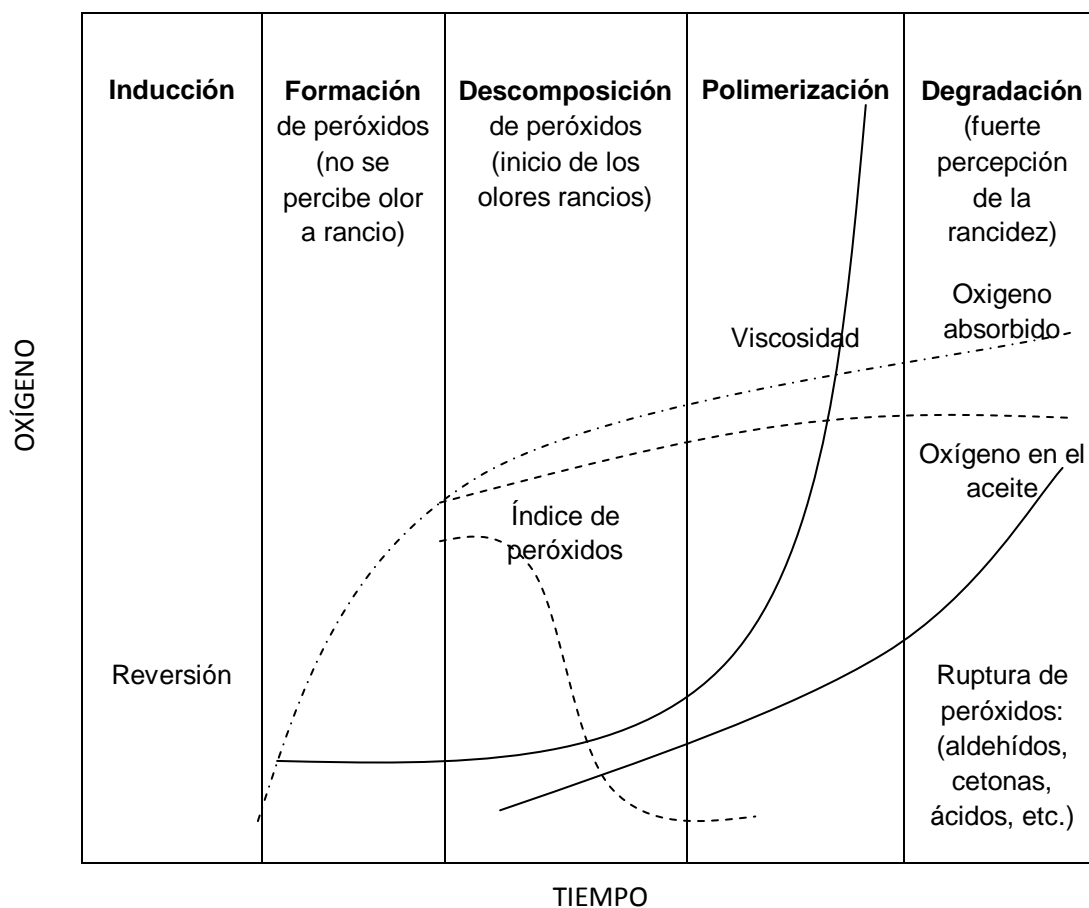
### **Terminación**

Durante esta fase, las especies radicales accionan entre ellas para dar especies no radicales, poniendo así fin a los ciclos reaccionales.



La figura N° 09 muestra el desarrollo de oxidación en aceites según Dergal (1993), en el que a través de las etapas de oxidación, debido al incremento de oxígeno en el transcurrir del tiempo, la reversión, la viscosidad, el oxígeno absorbido y el oxígeno en el aceite se incrementan. Por otro lado, el índice de peróxidos

presenta una curva sinusoidal; y como consecuencia de la ruptura de peróxidos, los aldehídos, cetonas, ácidos, etc., se van a desarrollar cada vez más en la etapa de degradación.



**FIGURA N°09: DESARROLLO DE OXIDACIÓN EN ACEITES**

Fuente: Dergal (1993).

## **Productos formados en el proceso de oxidación de los lípidos**

La oxidación de los lípidos conduce a la formación de productos primarios: hidroperóxidos, radicales libres, dienos conjugados, muy inestables y rápidamente descompuestos en productos secundarios: aldehídos, alcoholes, cetonas. Así también al momento del desarrollo de las reacciones de oxidación van a aparecer sucesivamente los productos primarios y secundarios de la oxidación.

### ***Productos primarios***

Los radicales libres son formados en el curso de las fases de iniciación y de propagación de la reacción de oxidación de lípidos. Esas especies muy inestables y muy reactivas son compuestos citotóxicos susceptibles de inducir alteraciones de moléculas del ADN (Kanazawa y Otros, 2000) y las proteínas. Los dienos conjugados, se forman por arreglo de los dobles enlaces del radical graso libre de los ácidos grasos poliinsaturados. Los hidroperóxidos son productos intermediarios de la

oxidación de los lípidos sin olor específico, ellos se descomponen rápidamente por el calor. Estos son los precursores de los compuestos volátiles.

Las velocidades de la oxidación de los ácidos grasos son aproximativamente 1:10:100:200 para los ácidos esteárico (C18:0), oleico (C18:1 n-9), linoleico (C18:2 n-6) y linolénico (C18:3 n-3) respectivamente (O'keefe y Otros, 1993).

### ***Productos secundarios***

Una vez los radicales formados, se producen numerosos reacomodamientos: formación de radicales endoperóxidos, vía los endoperóxidos bi-cíclicos y la formación de malondialdehídos (MDA) (Janeiro, 1990), así como de otras vías siendo así propuestas por Pryor y Otros (1976) para la formación del MDA.

### ***Fraccionamientos de los hidroperóxidos***

La mayor vía de escisión de los hidroperóxidos da lugar a los radicales hidroxilos (OH\*) y los oxiradicales (RO\*). Estos últimos engendran diversos productos de

oxidación así como de nuevos radicales muy reactivos pudiendo mantener la reacción o reaccionar con otras especies químicas (como las aminas, por ejemplo). La modificación de los hidroperóxidos puede evolucionar hacia funciones epóxidas, cetonas, hidroxilos, furanos más estables, con las posibilidades de acumularse sobre una misma cadena.

Los hidroperóxidos no son una especie química muy estable a temperatura ambiente, y eso se asevera cada vez que la temperatura aumenta.

Chan y Otros (1976) han mostrado que los hidroperóxidos se descomponen espontáneamente por encima de 150°C. Mientras se da esta descomposición, el tenor de radicales aumenta rápidamente y conduce a las reacciones de terminación. A temperaturas débiles (60°-120°C), la descomposición de los hidroperóxidos puede tener lugar vía la formación de esteres con otros ácidos grasos. Pokorny y Otros (1976) y Asakawa y Otros (1980), han mostrado que las sales de hierro catalizan la escisión de los hidroperóxidos del ácido linoleico (C18:2 n-6) y linolénico (C18:3 n-3), para formar el MDA.

### **3.3.2. Productos de interacción entre los productos de alteración de lípidos y las proteínas**

Los hidroperóxidos y los productos secundarios salidos de la oxidación de lípidos interactúan con las proteínas y los aminoácidos. Esas interacciones tienen un impacto importante sobre la degradación de las propiedades funcionales, sensoriales y nutricionales de los alimentos (Pokorny, 1977). La naturaleza de esas interacciones depende del estado de la oxidación de los lípidos es decir del tenor respectivo en hidroperóxidos y en productos secundarios (Ladikos y Lougovois, 1990).

Los hidroperóxidos son muy reactivos con los agrupamientos aminados y sulfidrilos de las proteínas.

La reacción de un hidroperóxido con un grupo alfa-amina conduce a la formación de un aldehído mientras que la reacción de un hidroperóxido con un grupo  $\epsilon$ -amina libre de una lisina conduce a la formación de una imina.

Las modificaciones químicas inducidas por las interacciones entre los hidroperóxidos de lípidos y las proteínas se traducen

por las formación de polímeros proteína-proteína o los productos de adición lípido-proteína, que conllevan una alteración de los aminoácidos tales como los aminoácidos esenciales reactivos, lisina, cisteína, metionina y triptófano (Gardner, 1979). En consecuencia, se nota una baja del valor nutricional de las proteínas.

Los compuestos carbonilos, notablemente los aldehídos, que derivan de la oxidación de los lípidos reaccionan con los agrupamientos aminados de proteínas y forman así bases de Schiff.

Los aldehídos actuarían preferencialmente con los agrupamientos thiol de las cisteínas y los agrupamientos  $\epsilon$ -aminas de las lisinas (Gardner, 1979). Las reacciones del MDA con las proteínas conducen a la formación de agrupamientos carbonilos a nivel de las cadenas de aminoácidos (Burcham y Kuhan, 1996). La solubilidad y las propiedades reológicas de las proteínas son afectadas por las reacciones entre los productos de oxidación de los lípidos y las proteínas.

Los enlaces entre los productos de oxidación de los lípidos y las proteínas son de tres tipos: enlace covalente, enlace iónico,

enlace hidrógeno entre los agrupamientos polares de los lípidos oxidados y las proteínas (Pokorny, 1977).

### 3.3.3. Factores promotores e inhibidores de la oxidación de los lípidos

Los factores promotores e inhibidores de la oxidación de los lípidos se resumen en el siguiente cuadro.

**CUADRO N° 04: FACTORES PROMOTORES E INHIBIDORES DE LA OXIDACIÓN DE LOS LÍPIDOS**

<b>Promotores</b>	<b>Inhibidores</b>
Temperaturas altas	Refrigeración
Metales Cu, Fe	Secuestradores
Peróxidos de grasas oxid.	Antioxidantes
Lipoxidasa	Escaldado
Presión de oxígeno	Gas inerte o vacío
Luz UV	Empaque opaco
Poliinsaturación	Hidrog. de ácid. insaturados

Fuente: Matissek y Otros (1998)

### **3.3.3.1. *Los iniciadores de la oxidación de los lípidos***

La fase de iniciación de la oxidación de los lípidos puede ser iniciada por muchos factores: las formas activas del oxígeno, los metales o el calor (Frankel, 1998).

#### ***Iniciación por las formas activadas del oxígeno***

El oxígeno molecular está, en su estado fundamental, en estado triplete. El no puede reaccionar directamente con los lípidos porque la barrera de su espín es muy elevada.

La reacción del oxígeno con los ácidos grasos insaturados es hecha posible por el inicio de un hidrógeno de una cadena de ácidos grasos bajo influencia de diferentes iniciadores como los iones de metales de transición, y las formas activas del oxígeno como el radical hidroxilo. El radical hidroxilo es muy reactivo, el puede arrancar un hidrógeno y formar así un radical alquilo que va a iniciar la peroxidación lipídica.

### ***Iniciación por los metales***

Los metales de transición juegan un rol importante en la generación de los radicales libres del oxígeno, ellos son los primeros activadores de las moléculas de oxígeno. La iniciación de la oxidación lipídica por los metales puede hacerse por transferencia del electrón o por formación de complejos de transición o de complejos con el peróxido de hidrógeno, que catalizan la autooxidación y la descomposición por la reacción redox (Frankel, 1998).

Las nueces y los granos son muy ricos en metales de transición, sobre todo el hierro y el manganeso. Según su forma, ellos catalizan a velocidades variables la oxidación de los ácidos grasos insaturados en los granos tostados, incluso a temperaturas de almacenaje muy débiles como 4°C (Cuq, 1992; St Angelo y Ory, 1975).

### ***Factores medioambientales***

Los principales factores implicados en la oxidación de los lípidos a lo largo de los procesos de transformación de

los alimentos son: la temperatura, el pH, la actividad del agua y la presión parcial en oxígeno.

Una elevación de temperatura favorece la oxidación de los lípidos. La oxidación de los lípidos es tanto más rápida cuando la temperatura es importante: el inicio de los hidrógenos alílicos y la descomposición de los hidroperóxidos en productos secundarios son favorecidos. Podemos notar sin embargo, que la solubilidad del oxígeno disminuye cuando la temperatura aumenta. Existe entonces un antagonismo entre esos dos parámetros. A baja temperatura, la solubilidad del oxígeno es elevada: la temperatura se convierte entonces en el factor limitante de la peroxidación lipídica.

El pH influye el desarrollo de la oxidación por vía de muchos mecanismos (Genot y Otros, 2003). Primeramente, por las reacciones de oxido-reducción haciendo intervenir a los protones ( $H^+$ ) el potencial redox decrece inicialmente con el pH. Un pH ácido favorece entonces la reacción de oxidación, en particular cuando las especies pro-oxidantes o antioxidantes solubles en fase acuosa están presentes. El pH interviene igualmente

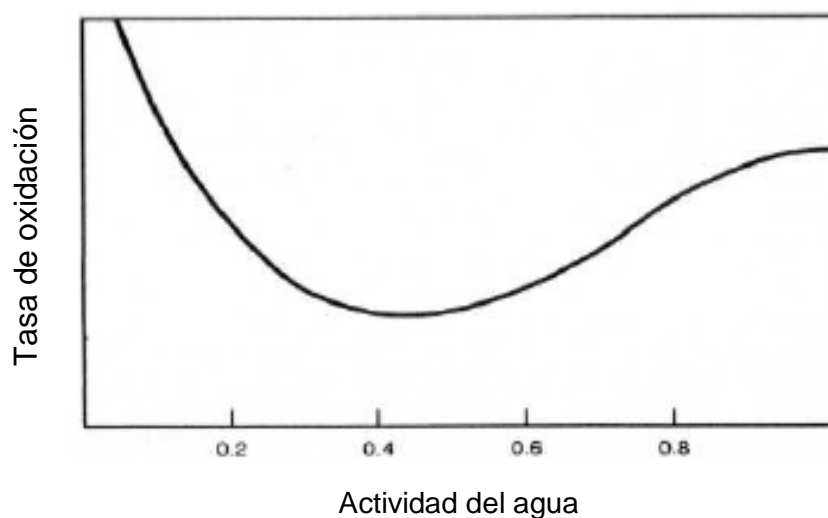
en la solubilidad de los compuestos implicados en la iniciación de la reacción. De esta forma, cuanto más bajo es el pH, más baja la solubilidad y el potencial redox de sus iones metálicos, y entonces su reactividad frente a las moléculas oxidables es elevada.

La actividad del agua ( $A_w$ ) de un sistema influencia las reacciones de oxidación de los lípidos.

Por definición, la  $A_w$  es la relación de la presión parcial del vapor de agua de un producto sobre la presión parcial de vapor de agua saturante ejercida por el agua pura a la misma temperatura.

El efecto del agua está ligado a las propiedades de solvatación de los iones y de los radicales libres y a su actividad química. Por solvatación, el agua permite la movilización de sustancias pro-oxidantes o antioxidantes. Ella interactúa con los cationes metálicos y los vuelve más o menos disponibles en la catálisis de las reacciones de oxidación. En general, en presencia de metales de transición solubles, una  $A_w$  vecina de 0,3 (entre 0,3 y 0,4) corresponde a las velocidades de autooxidación las más

débiles. Esos valores corresponden a la formación de una capa mono-molecular de agua alrededor de los constituyentes. Una  $A_w$  comprendida entre 0,6 y 0,8 corresponde a las velocidades de oxidación las más grandes (figura N° 10) Una actividad de agua muy débil es igualmente favorable a la oxidación (Frankel, 1998).



**FIGURA N°10: EFECTO DE LA ACTIVIDAD DEL AGUA SOBRE LA VELOCIDAD DE LA OXIDACIÓN DE LOS LÍPIDOS**

Fuente: Nawar (1996)

La actividad del agua juega un rol importante en la oxidación de las nueces y semillas oleaginosas. Las nueces y los maníes se oxidan menos y se conservan por más tiempo a  $A_w$  intermedias (Mate y Otros, 1996). Evranuz (1993) mostró que los maníes tostados se oxidan más rápidamente por los tenores en agua bajos ( $1,4 \pm 0,02\%$ ) y elevados ( $3,9 \pm 0,06\%$ ), en comparación a los tenores de agua intermedios ( $2,2 \pm 0,04\%$ ) a causa del rol protector de la capa mono-molecular del agua contra la oxidación de los lípidos (una  $A_w$  de 0,3 corresponde a un tenor en agua de las capas mono-moleculares de los maníes de 2,1%).

La velocidad de la reacción procede disminuyendo hasta un valor de  $A_w$  igual a 0,4 (tenor en agua de 3%), y luego aumenta a valores más elevados. Pero porque el carácter crocante de los maníes tostados es perdido más allá de un tenor en agua de 3%, además este tenor debe ser mantenido a un nivel más débil, aunque se encuentre más propicio a la oxidación (Evranuz, 1993; Mate y Otros, 1996).

Opuestamente a los maníes tostados, la velocidad de oxidación mínima de las castañas tostadas corresponde al tenor en agua de las capas mono-moleculares, mientras que ella aumenta por debajo y por encima de este valor. Esto ha sido atribuido al mecanismo enzimático de la oxidación de los lípidos de las castañas (Mate y Otros, 1996).

La elección del tenor en agua inicial anterior a la torrefacción condiciona fuertemente la calidad del producto tostado.

La concentración de oxígeno (presión parcial de oxígeno) en el medioambiente del producto y en el producto en si mismo influencia la velocidad de oxidación. Ella interviene igualmente a nivel de la naturaleza de los productos secundarios formados por descomposición de los hidroperóxidos. Su incidencia se ve entonces a la vez sobre la duración de la conservación del producto y la naturaleza de los olores percibidos cuando el producto es oxidado. La relación entre velocidad de oxidación y presión parcial de oxígeno depende de factores como la

actividad del agua, la temperatura, la naturaleza de los catalizadores.

Según las ecuaciones teóricas, cuando la concentración en oxígeno es suficientemente elevada, la velocidad de oxidación es independiente de esta concentración, porque el oxígeno no es más el factor limitante. Inversamente, cuando la concentración de oxígeno es débil, la velocidad de oxidación es independiente de la concentración en sustrato y directamente proporcional a la concentración de oxígeno.

Para las concentraciones intermedias, la velocidad de oxidación depende a la vez de la concentración en oxígeno y en sustrato. En ausencia de oxígeno, la oxidación de las nueces y granos se enlentece aun a temperatura ambiente entre 18 y 25 °C (Keme y Otros, 1983; Mate y Otros, 1996).

### **3.3.3.2. *Naturaleza y modo de acción de los antioxidantes***

Un antioxidante puede ser definido como “toda sustancia capaz de retardar el enranciamiento, la decoloración o la aparición de sabores indeseables debidos a la oxidación”. Así el antioxidante puede aumentar la duración de vida de un alimento y reducir las pérdidas en vitaminas o en ácidos grasos esenciales. El efecto de retardo es directamente medible sobre la cinética de oxidación de un ácido graso. El tiempo medio de vida del ácido graso es aumentado por las concentraciones crecientes de antioxidante agregado en el medio. Pero grandes concentraciones de antioxidante podrían ser responsables de un efecto pro-oxidante, como el que ha sido demostrado por el tocoferol (Cillard y Otros, 1980). De hecho si la concentración de la forma radicalaria del antioxidante producida por la oxidación, aumenta mucho, aquella puede comportarse como iniciador de la peroxidación lipídica. En todos los casos, la duración de la protección del alimento es temporal, el

antioxígeno bajo su forma activa desaparece progresivamente del medio.

### **Los antioxidantes fenólicos**

Numerosos fenoles forman parte de los antioxidantes primarios, que actúan con los radicales lipídicos, convirtiéndolos en productos termodinámicamente más estables (Shahidi y Otros, 1992).

Los antioxidantes más eficaces son aquellos que tienen las energías de enlace más débiles en el nivel del grupo donador de hidrógeno.

La eficacia de los antioxidantes fenólicos es debido en particular a la estabilización de los radicales fenólicos por la deslocalización de los electrones alrededor del ciclo aromático.

La eficacia de un compuesto fenólico depende igualmente del número de función OH en el hidrógeno lábil.

Las semillas y frutas oleaginosas son ricas en polifenoles. Su tenor en polifenoles totales puede llegar a

valores del orden de 1625 mg equivalente ácido gálico/100g (Kornsteiner y Otros, 2006).

Ellos contienen sustancias fenólicas como el ácido gálico, ácido p-hidroxibenzoico, epicatequina, ácido caféico, ácido sinápico, quercetina y luteolina. Esos extractos fenólicos pueden ser agregados a los alimentos como antioxidantes naturales (Andreoni, 1996).

Las almendras son ricas en flavonoides y ácidos fenólicos. Los flavonoides predominantes son: isoramnetina 3-O-rutinósido y isoramnetina 3-O-glucósido (en combinación), catequina, kaempferol-3-O-rutinósido, epicatequina, quercetina-3-O-galactósido, e isoramnetina-3-O-galactósido (Milbury y Otros, 2006).

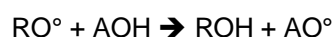
En los pistachos encontramos quercetina luteolina, eriodictiol, rutina, naringenina, apigenina, y las antocianinas cianidina-3-galactósido y cianidina-3-glucósido (Seeram y Otros, 2006). Lou y Otros (2004) han identificado muchas procianidinas y epicatequinas, captoras de radicales libres en los maníes. En las semillas de sésamo muchos compuestos fenólicos asociados a los

lignanós tales como el sesamolínol, pinorésínol, sésamínol y sésamol se han revelado como antioxidantes (Kumazawa y Otros, 2003).

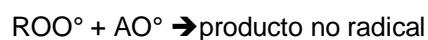
Sin embargo, el impacto de los fenoles sobre el enranciamiento de las semillas y frutos oleaginosos hasta la fecha ha sido poco evaluado.

### **Los tocoferoles**

Los tocoferoles que permiten atrapar a los radicales libres:



Reacciones minoritarias:



Los tocoferoles están presentes en los frutos oleaginosos en cantidades no despreciables, bajo sus diferentes formas alfa, beta, gamma y teta: las formas alfa

(33 y 24 mg/100g de lípidos en las nueces de macadamia y las castañas respectivamente) y gamma (29,3 mg/100g de lípidos en los pistachos) siendo los más frecuentes (Kornsteiner y Otros, 2006).

Los tocoferoles son derivados del 8-méthylchroman-6-ol, poseendo una cadena lateral de 3 unidades de terpenos saturados. Cuando esas cadenas son insaturadas, se habla de tocotrienoles. Los tocoferoles y ciertos derivados poseen propiedades antioxidantes, es decir la capacidad de ceder átomos de hidrógeno a los radicales libres a fin de estabilizarlos. A una fuerte concentración (> 4%), los tocoferoles se convierten en oxidantes.

Por el contrario, a concentraciones más bajas, ellos contribuyen a aumentar la estabilidad frente a la oxidación, particularmente para los lípidos de alto tenor en ácido oleico (C18:1 n-9).

Los tocoferoles son antioxidantes clasificados como antioxidantes de ruptura de cadena, es decir que ellos actúan a nivel de la etapa de propagación y terminación.

El alfa tocoferol es el más antioxidante y el gamma tocoferol el menos antioxidante. Además la inhibición de los ácidos grasos poliinsaturados los tocoferoles permiten orientar los productos de la autooxidación (Léger, 1992).

La forma alfa tocoferol es aquella que tiene la más grande actividad vitamínica (vitamina E), porque ella sola es retenida por el hígado gracias a los receptores específicos, para ser incorporada en las lipoproteínas circulantes. Pero es también la forma menos estable cuando existe calentamiento. Chen y Otros (2002) han mostrado que una mezcla de tocoferoles sería más eficaz frente a la peroxidación lipídica que el alfa tocoferol solo.

#### **3.3.4. La isomerización trans de los lípidos**

Además de la autooxidación, los lípidos de los alimentos pueden sufrir una isomerización trans durante su transformación industrial.

Como para toda cadena carbonada, un doble enlace sobre un ácido graso puede ordenarse según dos geometrías posibles; una configuración cis, los dos átomos de hidrógeno del mismo lado del plano del enlace, el caso más frecuente en la naturaleza, para los AG alimentarios, o una configuración trans, donde los dos átomos de hidrógeno están de un lado y del otro del plano del enlace, caso menos frecuente (Adrian y Otros, 1999).

Un ácido graso trans (AD trans) es un ácido graso insaturado que posee uno o varios dobles enlaces de configuración geométrica trans, es decir en el cual los sustituyentes (o los átomos de hidrógeno) se sitúan de un lado y del otro del plano del enlace (Adrian y Otros, 1999).

La configuración geométrica trans de los dobles enlaces conserva aproximadamente la linealidad de la cadena carbonada insaturada de manera similar a aquella de un ácido graso saturado. La cadena insaturada de configuración trans se convierte entonces más rígida que su homóloga cis. Al contrario de los dobles enlaces trans, los dobles enlaces cis provocan de hecho la encurvación de las cadenas carbonadas. La presencia de la configuración trans permite entonces

aumentar el punto de fusión de un ácido graso insaturado, así como otros parámetros “físico-químicos” de la molécula tales como la polaridad global del ácido graso, lo que permite en ciertas condiciones cromatográficas separar los isómeros cis de los isómeros trans. Los enlaces trans modifican igualmente las propiedades espectrométricas (absorción UV, infrarrojo, etc.) de los ácidos grasos, punto interesante para su identificación.

Los ácidos grasos trans presentes en los alimentos provienen de tres orígenes principales:

La bio-hidrogenación ruminal y diferentes reacciones enzimáticas anexas, responsables de la presencia de AG trans en la leche y los alimentos derivados de los rumiantes (carne, productos de origen lácteo).

La hidrogenación catalítica parcial de aceites o de grasas, responsable de la presencia de AG trans en los aceites parcialmente hidrogenados y los “shortenings” (margarinas y mezclas de materias grasas anhidras destinadas principalmente a la industria).

Los tratamientos térmicos, responsables de la formación de AG trans en los aceites, las grasas y todo alimento que

contenga cuerpos grasos. Ellos pueden ser de origen industrial o doméstico.

Los tratamientos térmicos de aceite y grasas (desodorización en el momento del refinado, cocción, frituras, tostados, etc.) generan AG trans. Contrariamente a la hidrogenación catalítica, el calentamiento, induce poco los isómeros 18:1 – trans, pero sobre todo los ácidos grasos di- y tri- enoicos, mono e incluso di-trans. Los tratamientos térmicos producen sobretodo isómeros geométricos, pocos isómeros posicionales (ex ácido vaccénico): los dobles enlaces migran poco o nada, pero se isomerizan de *cis* a *trans* (Wolff y Sébédio, 1991).

La literatura menciona principalmente el efecto del calentamiento sobre el ácido linoleico 18:2 9c,12c (n-6) y el ácido alfa-linolénico 18:3 9c,12c,15c (n-3) (Wolff, 1995). Sin embargo algunas publicaciones hacen hecho de la isomerización del ácido alfa-linolénico 18:3 6c, 9c,12c (Wolff y Sébédio, 1991).

Los isómeros formados y las tasas de AG trans producidos dependen sobre todo de la temperatura, pero igualmente del tiempo de aplicación del tratamiento (Wolff, 1995).

### **3.3.5. Métodos para evaluar el deterioro de lípidos**

La oxidación de los lípidos se puede evaluar mediante los siguientes métodos:

- El índice de acidez
- El índice de peróxidos
- El índice del tiobarbitúrico
- El índice de p-anisidina
- El índice de absorbancia (espectrofotometría al UV)
- El índice de yodo
- La prueba del ácido butírico
- La prueba de oxidabilidad
- La evaluación sensorial

Siendo los 5 primeros los de mayor fiabilidad y por lo tanto los más utilizados en el análisis de lípidos.

#### **3.3.5.1. *Determinación del índice de acidez***

La cantidad de ácidos grasos libres, expresados en ácido oleico. El valor máximo admitido por la reglamentación técnico-sanitaria apto para el consumo humano es de 3,3 g por cada 100g de ácidos grasos. La acidez es una anomalía que tiene su origen principalmente en el mal estado de los frutos, mal tratamiento o mala conservación.

#### **3.3.5.2. *Determinación del índice de peróxidos (IP)***

Su fundamento es la oxidación del ión yoduro a yodo, en medio ácido, por parte de los peróxidos lipídicos presentes en la grasa disuelta en cloroformo. El triyoduro formado se valora con una solución normalizada de tiosulfato sódico, con engrudo de almidón como indicador. Los resultados se expresan, habitualmente, en mEq de oxígeno por kg de grasa, ya que los peróxidos tienen estructuras variadas y no conocidas exactamente.

Fórmula:

$$mEq O_2/kg \text{ grasa} = (V \text{ mL tiosulfato}) \times (N \text{ tiosulfato}) \times 1000/g \text{ de grasa}$$

A pesar de su gran aplicación, es un método que presenta una serie de dificultades que pueden conducir a resultados poco exactos y escasamente reproducibles. La primera es la escasa solubilidad del yoduro en cloroformo, lo que hace necesaria una enérgica agitación antes de la valoración, para favorecer el contacto entre fase acuosa y orgánica. En relación con esta cuestión, el oxígeno en contacto con el yoduro se renueva de forma eficaz con la agitación, lo que puede provocar su oxidación, dando errores por exceso en la medida de los peróxidos. Otras fuentes de error son, la acción catalítica de la luz sobre la oxidación del yoduro, y la fijación de yodo por los dobles enlaces, en grasas muy insaturadas (Codony, R. y Otros, 2010). Así mismo, la reacción de reducción del yoduro no es muy rápida, lo que puede provocar una imprecisión en la observación del punto final. Finalmente, la sensibilidad de la reacción no es muy grande (0,5 meq O<sub>2</sub>/ kg grasa).

Todo ello hace que el método resulte, en general, poco sensible e impreciso y que los resultados dependan, tanto

de la naturaleza de la muestra, como del técnico analista y de sus hábitos de procedimiento.

La correcta práctica de este índice, no obstante, resulta una excelente herramienta para valorar el estado oxidativo inicial de grasas y aceites y sus resultados presentan, en general, una excelente correlación con otros sistemas de medida como la extinción específica a 232 nm (0,993), la determinación del oxígeno por CG-espacio en cabeza (0,87) o incluso con el análisis sensorial (0,84-0,97, según la grasa) (Hahm y Min, 1995).

#### **3.3.5.3. *Determinación del índice tiobarbitúrico (TBA)***

El índice TBA se define como el incremento de absorbancia medido a 530 nm luego de la reacción del equivalente de 1 mg/ml con ácido 2-tiobarbitúrico.

Este método mide un producto secundario de la oxidación de los lípidos: el malonaldehído.

### **Fundamento**

Se basa en la reacción de dos moléculas de TBA con una de dialdehído malónico, en la que se produce un compuesto cromógeno rojo que se mide a 530 nm. El análisis se efectúa después de eliminar los pigmentos del alimento, o en la fracción que se recolecta de una destilación.

#### **3.3.5.4. *Determinación del índice de yodo***

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

Representa la cantidad en g de halógeno, referidas al yodo elemental, que resulta ligada por cada 100 g de grasa o ácidos grasos.

## **Fundamento**

La grasa disuelta se mezcla con un exceso de bromo. La cantidad de bromo que no se adiciona a los dobles enlaces oxida una disolución de yoduro a yodo, que se determina por valoración con una disolución de sulfato sódico. La reacción de adición se realiza en oscuridad para evitar que se reduzcan reacciones laterales de radicales inducidos por la luz.

### **3.3.5.5. *Determinación del índice de la p-anisidina***

En presencia de ácido acético, la p-anisidina reacciona con los aldehídos produciendo un color amarillento. El coeficiente de extinción molar a 350nm aumenta si el aldehído contiene un doble enlace; por ello el índice de anisidina constituye fundamentalmente una medida de los 2-alquenes. Para la evaluación de la oxidación de las grasas se ha propuesto el llamado índice Totox o índice de oxidación (OV), que equivale a  $2 \times$  índice de peróxido + índice de anisidina (Fennema, 2000). (Anexo N°01)

### **3.3.5.6. *Determinación de la absorbancia (espectrofotometría al UV a 232 y 270 nm)***

Se trata de una técnica simple y rápida para evaluar el grado de oxidación lipídica. Este método ha sido extensamente utilizado para la monitorización de la oxidación lipídica de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en aceites vegetales, de pescado y en muestras biológicas (Frankel y Otros, 1996; Jialal y Devaraj, 1996; Puhl y Otros, 1994; White, 1995). Se trata de una medida totalmente condicionada por la naturaleza del aceite a analizar, ya que depende claramente de su composición en ácidos grasos y de los productos de oxidación que se puedan generar a partir de ellos.

#### ***Absorción de la fracción lipídica a 232 nm***

La formación del hidroperóxido en la cadena de un ácido graso poliinsaturado comporta el desplazamiento de un doble enlace hacia el carbono del grupo metilénico anexo, con la consecuencia de la formación de un dieno

conjugado. Los dienos conjugados se pueden detectar por espectrofotometría pues tienen una absorción característica a 230-235 nm (Paz-Antolín y Molero-Meneses, 2000; Frankel, 1998; White, 1995), es, por tanto un buen parámetro para evaluar el proceso oxidativo inicial de una grasa.

No obstante, deberá tenerse en cuenta siempre que el grado de insaturación de la grasa hará variar la proporción de dienos conjugados con relación al peso de grasa y, por tanto, los valores no serán estrictamente comparables entre diferentes tipos de grasa (Frankel y Otros, 1996; White, 1995).

Respetando estas limitaciones, y con una adecuada utilización en cada caso, la medida del contenido de dienos conjugados por espectrofotometría UV se muestra una técnica de gran interés, simple y reproducible, y con escasos requerimientos metodológicos y de habilidad del operador. La utilidad de este método ha sido demostrada por muchos autores, tanto en muestras de aceites y grasas comestibles (Paz-Antolín y Molero-Meneses, 2000)

como en muestras biológicas (Jialal y Devaraj, 1996; Puhl y Otros, 1994).

Los métodos oficiales (IUPAC 2.505, AOCS Ti 1a64, AOAC 28.048-28.054, DOCE, 1991) recogen la espectrofotometría directa, sin embargo, la lectura de la absorbancia, se ve interferida por algunos componentes que presentan una cierta absorbancia, en la zona cercana a 232 nm, como es el caso de los propios AGPI no oxidados.

No obstante, distintos peróxidos que absorben a 232 nm son inestables considerándose que no puede usarse como una medida de la evolución de la oxidación a elevadas temperaturas. Por todo ello, la curva de evolución de la absorbancia a 232 nm, en función del tiempo, es compleja de interpretar, especialmente en aceites y grasas sometidas a fritura, en las que la destrucción de peróxidos está fuertemente catalizada.

### **Absorción de la fracción lipídica a 270 nm y 280 nm**

Mientras los compuestos de oxidación primaria, formados durante la oxidación del aceite, absorben básicamente a 232 nm, los compuestos de oxidación secundaria (aldehídos, cetonas y ácidos) absorben a 268-270 y 280nm. La mayoría de estos compuestos secundarios provienen de la descomposición de los HPL y son preferentemente dicetonas etilénicas, alcadienales o cetodienos conjugados (White, 1995).

### ***Método final***

La determinación se realiza según el método oficial de análisis recogido en el Reglamento de la CEE (Reglamento 2568/91) relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis. (Anexo N°02)

### **3.4. Impacto de los compuestos “neoformados” sobre la seguridad alimentaria**

#### **3.4.1. Toxicidad de los compuestos “neoformados”**

El tratamiento térmico de las matrices alimentarias esta al origen de numerosas reacciones químicas de degradación descritas anteriormente, conllevando a la desaparición de compuestos iniciales (termosensibles) y/o la síntesis de nuevos compuestos neoformados.

Las reacciones de interacción al calor entre los diferentes constituyentes de la matriz alimentaria son muy numerosas y difíciles de anticipar. Los tratamientos térmicos pueden así conllevar a efectos positivos (esterilización, desaparición de toxinas, aumentación de la digestibilidad) y a efectos negativos (desaparición de vitaminas, proteínas y ácidos grasos esenciales, aparición de compuestos tóxicos). Además, ciertos de los productos neoformados pueden jugar un rol preponderante en las propiedades organolépticas de los alimentos (gusto “tostado”, “ahumado” o “caramelizado”)

## **Los lípidos**

La acción de las altas temperaturas sobre los lípidos es susceptible de generar productos tóxicos por mecanismos de oxidación. Se puede entonces encontrar compuestos oxidados (oxicolesterol), pero también productos de degradación (MDA) o productos complejos de ciclación (endoperóxidos) o de condensación (polímeros de peróxidos).

El MDA es un agente reticulante, mutágeno, capaz de formar puentes entre las hebras del ADN, de las proteínas, o incluso entre el ADN y las proteínas.

Por calentamiento a altas temperaturas de los lípidos contenidos en los alimentos o bien utilizados para la cocción, puede igualmente formarse de acroleína que es un agente genotóxico, teratógeno.

Además, los ácidos grasos trans generados por la isomerización de los ácidos grasos de los lípidos insaturados pueden tener efectos nefastos sobre la salud, entre los cuales un incremento del riesgo cardiovascular debido a la aterogenicidad de esos isómeros.

### **3.4.2. Toxicidad y efectos fisiológicos de los compuestos neoformados**

#### **Los productos de oxidación lipídica**

Numerosos estudios han sido llevados a cabo sobre la toxicidad de los lípidos oxidados y de sus productos de degradación (Edem, 2002). Esos estudios han concernido sea la toxicidad de los productos de peroxidación aislados, o sea aquella de los aceites oxidados.

#### **Toxicidad**

Aunque los hidroperóxidos lipídicos sean muy tóxicos cuando ellos son administrados por vía intravenosa (lesiones aórticas en el conejo) (Addis, 1986), la administración oral de esos hidroperóxidos a los animales se ve considerablemente menos tóxica, probablemente a causa de su débil biodisponibilidad o su bio-conversión en sustancias menos tóxicas. Parece que la glutación peroxidasa juega un rol mayor en ese proceso de detoxificación (Kubow, 1992).

Sin embargo, algunos estudios han mostrado que, en las ratas, los hidroperóxidos del ácido (C18:2 n-6) son absorbidos

en el sistema circulatorio e incorporados en el hígado induciendo entonces numerosos efectos deletéreos tales como una hipertrofia de hígado, una aumentación de las actividades transaminasas séricas y una aumentación de los niveles de hidroperóxidos hepáticos (Kanazawa y Otros, 1985).

Por el contrario, numerosos estudios confirman que los productos secundarios de peroxidación son absorbidos en el sistema circulatorio después de la administración oral y distribuidos en los diferentes órganos, en particular el hígado donde ellos ejercen numerosos efectos nefastos tales como una hipertrofia de hígado. Además de los efectos directos sobre los órganos, los productos secundarios de la peroxidación de origen alimentario acentúan el estrés oxidante favoreciendo la oxidación lipídica *in vivo* (Kubow, 1992).

Por otro lado, los estudios de toxicidad a largo plazo en los animales han mostrado que los aceites moderadamente oxidados (condiciones realistas) provocan lesiones cardíacas y hepáticas (Kubow, 1992).

## **Aterogénesis**

Los estudios hechos sobre el animal y en el hombre confirman el rol aterógeno de los productos de peroxidación de origen alimentario. De hecho, los estudios sobre los animales han puesto en evidencia una asociación entre el consumo de raciones alimentarias ricas en productos de peroxidación y la aterosclerosis. Por otro lado, los estudios clínicos sobre el hombre han mostrado que los niveles de TBARS son más elevados en los quilomicrones de los individuos que consumen aceite de soja oxidado térmicamente en comparación con los sujetos controlados que consumen el aceite no oxidado. Otros estudios muestran que los productos de peroxidación de origen alimentario pueden acelerar la acumulación de los lípidos oxidados en los macrófagos y monocitos en el hombre, etapa clave en el proceso de aterogénesis. De hecho el reconocimiento y la internalización de los LDL por los macrófagos se vuelve significativo desde que los LDL están bajo forma oxidada, entonces en particular seguida a la ingestión de lípidos oxidados. Esto induce un incremento no regulado de la absorción de ésteres de colesterol por los macrófagos, seguido por una migración de estos últimos

enriquecidos en lípidos hacia la superficie del endotelio, causando una formación de placas (Kubow y Otros, 1992).

### **Mutagenicidad y carcinogénesis**

Estudios sobre la mutagenicidad y carcinogenicidad de los alimentos oxidados han sugerido el rol de los productos derivados de los hidroperóxidos en el desarrollo de tumores de colon actuando como mutágenos sobre la mucosa del colon. Por otro lado, se ha mostrado que los productos de oxidación secundaria volátiles, tales como los aldehídos saturados e insaturados, los compuestos dicarbonilos y la acroleína, son mutágenos. Una actividad mutágena moderada ha sido detectada en la fracción polar de los aceites de fritura (temperaturas de fritura que no pasan los 182°C).

Entre los productos secundarios de peroxidación, el MDA ha sido el más estudiado en razón de sus actividades mutágenas y cancerígenas. En razón de su débil peso molecular, el MDA es fácilmente absorbido, distribuido y metabolizado, lo que aumenta su potencial de toxicidad. Por vía oral, el MDA induce en los ratones el desarrollo de neoplasmas a nivel del estómago y del hígado, así como de lesiones pancreáticas

debidas a las células exocrinas atrofiadas (Kubow, 1992; Fujioka y Shibamoto, 2004). En tanto que el di-aldehído, el MDA entra en las reacciones cruzadas con las proteínas, reacciona con el ADN, inactiva la ribonucleasa e induce las aberraciones cromosómicas (Addis, 1986).

Así mismo, se ha mostrado que el glioxal ejerce una actividad tumorigéna a nivel del estómago de las ratas, mientras que el metilglioxal inhibe la síntesis de proteínas, del ADN y del ARN en las células del colon de los ratones, y que el 4-HNE (4-hidroxi-2-nonenal) provoca una necrosis a nivel de los linfocitos del timo (Fujioka y Shibamoto, 2004). Del hecho de su carácter electrófilo, el 4-HNE entra en reacción con los agrupamientos tiols del glutatión y de las proteínas e inhibe la división celular en las células mamíferas así como la actividad de ciertas enzimas ligadas a las membranas y a los microsomas (Kubow, 1992).

### **Los ácidos grasos trans**

Pocos estudios toxicológicos en el sentido estricto del término han sido efectuados sobre los AG trans. Aquellos que

existen se enfocan en la mezcla equiponderal sintética de dos isómeros conjugados de ácido linoleico: el 18:2 9*c*,11*t*, y el 18:2 10*t*,12*c*. Esta mezcla, a dosis de 3 a 6 g por día, no conlleva efectos sobre los parámetros habitualmente medidos en toxicología (AFSSA, 2004).

Por el contrario, numerosos estudios de intervención o epidemiológicos en el hombre han mostrado que la aumentación del consumo en AGT conlleva a un crecimiento del riesgo cardiovascular. Para niveles elevados de consumo, los AGT aumentan el colesterol LDL 1004 así como los ácidos grasos saturados y tienden a disminuir el colesterol HDL. Esos efectos podrían ser inducidos por la proteína de transporte de los esteres de colesterol. Los ácidos grasos trans aumentan también las tasas de lipoproteína LDL en comparación a los otros ácidos grasos (Weggemans y Otros, 2004).

Los efectos cancerígenos eventuales de los ácidos grasos trans son muy controvertidos. En el hombre los resultados de estudios sobre la influencia de los ácidos grasos trans sobre el cáncer de seno y el cáncer colorectal siguen siendo muy sombríos; de hecho ciertos estudios han demostrado una

asociación positiva entre los ácidos grasos trans y esos cánceres (Lecerf y Cristiani, 2004).

Por otro lado, algunos estudios han encontrado una asociación positiva entre el consumo de los ácidos grasos trans y el riesgo de diabetes del tipo 2 (Salméron y Otros, 2001). De hecho, parece que la composición en ácidos grasos de los músculos y los ácidos grasos de origen alimentario modulan la acción de la insulina, y que los ácidos grasos trans parecen aumentar la resistencia insulínica (Bray y Otros, 2002).

### **Los oxifitoesteroles**

Los oxifitoesteroles constituyen una familia de compuestos en los que los efectos *in vivo* no son todavía tan conocidos, pero en los cuales la importancia podría ser considerable. Esos compuestos están presentes en una pequeña cantidad en los alimentos y los niveles ingeridos por el hombre son muy pequeños. Van de Bovenkamp y Otros (1988) estiman en algunos miligramos las cantidades ingeridas por día. La presencia de los oxifitoesteroles en la circulación sanguínea es preocupante y puede tener implicaciones importantes sobre la salud. De hecho, los oxifitoesteroles son sospechosos de tener

diversos efectos citotóxicos o mutágenos (Meyer y Otros, 1998). En un estudio reciente (Ryan y Otros, 2005), efectos tóxicos similares sobre los cultivos de células humanas han sido encontrados para los oxisteroles y los oxifitoesteroles. Sin embargo concentraciones más elevadas de oxifitoesteroles han sido necesarias para inducir el mismo nivel de toxicidad que aquella de los oxisteroles. Además, estudios recientes han detectado niveles significativos de oxifitoesteroles en el plasma de personas sanas (Grandgirard y Otros, 2004), porque hasta aquí solo la presencia de oxifitoesteroles ha sido detectada en el plasma de personas que presentaban ciertas patologías tales como la de personas fitoesterolémicas (Plat y Otros, 2001). Sin embargo el origen de esos oxifitoesteroles en el plasma humano no es muy conocido. De hecho, ellos pueden ser de origen alimentario así como ellos pueden formarse por oxidación *in vivo* de los fitoesteroles presentes en el plasma sanguíneo (Grandgirard y Otros, 2004). Sin embargo, los efectos biológicos de los oxifitoesteroles y su biodisponibilidad siguen siendo poco conocidos.

### **3.5. Impacto de las reacciones de oxidación lipídica sobre la calidad nutricional de nueces y granos oleaginosos**

Las numerosas reacciones descritas arriba son conocidas por disminuir la calidad nutricional global de los alimentos (Ledl y Schleicher, 1990, Hodge, 1953). Esta baja de calidad nutricional concierne a la vez los lípidos, proteínas, los antioxidantes y las vitaminas.

De hecho, la oxidación de los lípidos y su degradación térmica durante la transformación de las nueces y semillas oleaginosas inducen una pérdida a nivel de los ácidos grasos esenciales, en particular los ácidos grasos más insaturados linoleico y linolénico. Luh y Otros (1982) han mostrado que la torrefacción de los pistachos provoca una disminución del tenor en ácidos grasos oleico (C18:1 n-9) y linoleico (C18:2 n-6). Una de las consecuencias mayores en términos de pérdida de calidad de proteínas es una disminución de la digestibilidad global de las proteínas ligadas a la formación de puentes interpeptídicos resistentes a la acción de las enzimas y limitando su accesibilidad. Sin embargo, ciertos productos de Maillard inhiben las proteasas (Adrian y Otros, 2000). Por otro lado,

ciertos aminoácidos esenciales son destruidos por la degradación de Strecker o modificados irreversiblemente por la reacción de Maillard.

La lisina es el aminoácido más reactivo y las formas bloqueadas del aminoácido son indisponibles para el organismo. Resulta una baja neta del valor biológico de la proteína particularmente en el caso de las nueces y semillas oleaginosas donde la lisina es el aminoácido limitante. La lisina puede ser bloqueada a la vez por los azúcares reductores, o por los compuestos aldehídicos derivados de la degradación térmica de los hidroperóxidos. Ahora, las nueces y granos oleaginosos contienen a la vez azúcares, proteínas y lípidos. Se espera entonces un bloqueo del aminoácido por esos diferentes sustratos. A demás, esta reacción siendo favorecida con un débil tenor en agua, ellas se desarrollan fácilmente en las nueces y granos oleaginosos tostados.

Ciertos estudios sobre la transformación de las nueces y semillas oleaginosas han demostrado el efecto del tratamiento térmico sobre la disponibilidad de los aminoácidos. Luh y Otros (1982) reportan que el blanqueamiento, el secado y la torrefacción de los pistachos provocan sucesivamente una pérdida de la disponibilidad de ciertos aminoácidos en esos productos. Damame y Otros (1990) han mostrado que el tratamiento térmico aplicado en el curso de la

torrefacción de los maníes disminuye significativamente los tenores en metionina, triptófano y la digestibilidad de las proteínas *in vitro*.

Así mismo, Khalil y Chughtai (1983) han puesto en evidencia una disminución del tenor de lisina, treonina, metionina, cistina, arginina, tirosina y triptófano en el curso de la torrefacción (150°C, 30 min) de los maníes.

Finalmente, el tratamiento térmico provoca una degradación de los tocoferoles y de ciertos polifenoles y fitoesteroles (Seeram y Otros, 2006).

La torrefacción de las avellanas puede conducir a una disminución máxima de 10% de su contenido en vitamina E y 14% en fitoesteroles, según la temperatura y el tiempo de la cocción (Amaral y Otros, 2006).

### **3.6. Procesos de transformación industrial del sachá inchi en snack**

Los procesos de transformación industrial que se siguen para la obtención del sachá inchi en snack son similares a los seguidos para las semillas y frutos oleaginosos, los cuales difieren esencialmente en el tipo de secado-tostado utilizados. La información descrita a continuación tiene en cuenta esta similitud así como las entrevistas realizadas a industriales que producen sachá inchi en snack, debido a que en la actualidad no existe una Norma Técnica para la elaboración de este producto ni se encuentran registrados los parámetros operativos en el Codex Alimentarius.

#### **3.6.1. Recepción y selección**

Las semillas son recepcionadas a temperatura ambiente y son seleccionadas aquellas que estén enteras, totalmente provistas de su primera capa leñosa, sin manchas de enmohecimiento o signos de algún tipo de deterioro.

#### **3.6.2. Almacenamiento o conservación**

De no realizarse el procesamiento de las semillas inmediatamente estas se deben almacenar a 8°C.

### **3.6.3. Descascarillado**

Para iniciar el proceso se debe proceder en primer lugar a descascarillar las semillas dejando sólo la parte interna que continuará el proceso de secado-tostado. Este proceso se realiza manualmente, sin embargo también es posible realizarlo con la ayuda de una máquina descascarilladora. Algunas empresas no hacen esta operación y realizan el secado-tostado de la semilla de sachá inchi íntegramente (con cáscaras).

### **3.6.4. Secado-Tostado**

Los procesos de secado-tostado más comunes para este tipo de producto son aquellos que realizan un secado-tostado por arrastre y otros por ebullición.

#### **Secado-tostado por arrastre**

El producto a tostar es calentado en continuo por una corriente de aire caliente o de forma discontinua por superficies de contacto a temperaturas de 185°C por 10 minutos (en hornos) o de 100°C por 30 minutos. (Tscheuschner, 1987).

### **Secado-tostado por ebullición**

El producto a secar-tostar es sumergido en aceite caliente entre 140 y 180°C por un tiempo de 15 a 25 minutos (Farkas y Otros, 1996).

#### **3.6.5. Saborizado**

Las semillas salidas del proceso de secado-tostado son inmediatamente saborizadas mediante la aspersion de una solución salada, picante, sabor a queso, chocolate, etc.

#### **3.6.6. Enfriado**

Tras el tostado se da un enfriamiento inmediato para evitar sobre tostaciones y pérdidas de materia grasa. Las semillas saborizadas, aún con altas temperaturas, son dejadas enfriar en bandejas hasta alcanzar una temperatura promedio de 25°C.

#### **3.6.7. Envasado**

El envasado de las semillas de sachá inchi se realiza en envases plásticos o en envases trilaminados (polietileno-aluminio-polietileno) para evitar el paso de la luz, y en muchos casos son envasados con atmósfera modificada.

### **3.6.8. Almacenado**

El almacenado de estos productos debe tener en cuenta el cuidado de la temperatura, el oxígeno, la luz y la humedad debido a que todos estos factores favorecen el deterioro de las semillas. El producto final es generalmente almacenado en ambientes cerrados, a una temperatura de 25°C, en promedio, y a una humedad relativa de 45% en envases plásticos o trilaminados.

## **IV. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **4.1. Formulación de la hipótesis**

Es posible determinar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*).

### **4.2. Identificación de variables e indicadores**

#### **4.2.1. Variables independientes**

- Temperatura de secado-tostado
- Tiempo de secado-tostado

#### **4.2.2. Variable dependiente**

- Calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi.

### 4.2.3. Indicadores

No existe una norma específica que sirva como indicador para las variables consideradas en este trabajo para este producto, sin embargo se pueden considerar algunos indicadores utilizados para otros derivados del sachá inchi y otros productos oleaginosos similares.

#### 4.2.3.1. *Indicadores de la variable dependiente*

- Índice de absorbancia:  
 $K_{270} \leq 0,9$  (aceite de oliva)  
 $K_{232} \leq 2,60$  (aceite de oliva virgen)  
Codex alimentarius CODEX STAN 33-1981
- Índice de acidez libre (expresada como ácido oléico) en %:  
<1% (aceite de sachá inchi extra virgen)  
NTP 151.400:2009

## **V. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1. Lugar de ejecución**

La parte experimental de la tesis se realizó en el Laboratorio de Análisis y Tecnología de Alimentos, el Laboratorio de Operaciones Unitarias y el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNJBG.

### **5.2. Materia prima**

Las semillas de sacha inchi (especie: *Plukenetia volubilis* L., ecotipo desconocido) utilizadas en este trabajo fueron obtenidas del mercado “La Parada” en Lima, cuyo origen, según el vendedor de la oleaginosa, es Tarapoto, Perú. Las semillas fueron transportadas en bolsas de rafia a temperatura ambiente (aproximadamente 15°C) en junio del 2012 y fueron procesadas en el mismo mes.

### **5.3. Materiales y equipos**

A continuación se listan los materiales y equipos utilizados en la realización de este estudio.

#### **Materiales y equipos para el análisis proximal**

- Placas petri
- Mortero y mazo
- Desecador
- Cuerpo Soxhlet
- Balón Soxhlet
- Mangueras
- Probetas
- Embudos
- Vasos precipitados
- Papel filtro
- Mechero bunsen
- Soporte universal
- Balón Kjeldahl
- Crisoles
- Cocinilla eléctrica

- Pinzas
- Espátulas para toma de muestras
- Matraces kitasato
- Papel tornasol
- Bomba de vacío

Marca: FISATOM

Potencia: 300 W

Presión: -100 a -760 mmHg

- Bomba

Marca: PENTAX

Q (L/min): 20-90

Potencia: 0,5 HP

- Balanza analítica

Marca: METTLER

Modelo: AJ150

Capacidad máxima/Precisión: 150g/0,0001g

- Estufa

Marca: MEMMERT

Rango de temperaturas de funcionamiento: 30°C-200°C

- Equipo Soxhlet

Marca: LAB-LINE

Capacidad: 6 hornillas

- Campana-Extractor de gases

Marca: CRUMA

Modelo: Captair

### **Reactivos y soluciones para el análisis proximal**

- Benceno industrial (solvente orgánico)
- Acido bórico P.A. en solución (4%)
- Hidróxido de sodio P.A. en solución (50% y 1,25%)
- Acido sulfúrico P.A. en solución (1,25%)
- Acido sulfúrico P.A. en solución 0,1N
- Catalizadores
- Indicador rojo de metilo
- Agua destilada

### **Materiales y equipos para la elaboración de los snacks**

- Aceite vegetal  
Marca "Cocinero"
- Sartén

- Espumadera
- Escurridor
- Papel toalla
- Recipientes de plástico
- Envases trilaminados: PET, aluminio, PET
- Selladora térmica de envases trilaminados

Marca: BROTHER

50 Hz

- Termocupla electrónica digital
- Cocinilla eléctrica con termostato

Marca: FISATOM

Rango de temperaturas de funcionamiento: 50-300°C

Potencia: 650 W

- Cronómetro digital
- Balanza

Marca: FERTON

Capacidad máxima/Precisión: 30Kg/ 5g

### **Materiales y equipos para el análisis físico-químico**

- Espátulas para toma de muestras
- Buretas de 10mL

- Soporte universal
- Probetas 10 y 25mL
- Baguetas
- Pipetas de 10, 5 y 1 mL
- Vasos precipitados 10, 25, 100, 250 mL
- Matraces erlenmeyer de 250 mL
- Matraces erlenmeyer esmerilados de 250 mL
- Fiolas de 10 y 25mL
- Embudos
- Bombilla de succión
- Celda de cuarzo 1cm
- Platos
- Caja de cartón
- Papel toalla
- Cocinilla eléctrica
- Campana-Extractor de gases  
Marca: CRUMA  
Modelo: Captair
- Moledora  
Marca CORONA
- Prensa hidráulica

Marca: HYDRAULIC JACK

- Centrífuga

Marca: SELECTA

Capacidad: 9000 RPM

- Espectrofotómetro UV

Marca: HEWLETT PACKARD

Modelo: 8453

## **Reactivos y soluciones para el análisis fisicoquímico**

### **Índice de acidez**

- Hidróxido de sodio 0,1N (*valorada con biftalato de potasio*)
- Alcohol de 96°
- Indicador fenolftaleína al 1%

### **Índice de peróxidos**

- Cloroformo P.A.
- Acido Acético P.A.
- Agua destilada
- Solución de tiosulfato 0,1N y 0,01N (*valorados con dicromato de potasio*)

- Solución saturada de KI
- Solución de almidón al 1%

#### **Índice de absorbancia por espectrofotometría al UV ( $K_{270}$ y $K_{232}$ )**

- Ciclohexano P.A.

### **5.4. Métodos experimentales**

#### **5.4.1. Delineamiento experimental**

Para estudiar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad sensorial y fisicoquímica de las semillas de sachá inchi, se categorizaron las variables independientes en 3 niveles (Cuadro N°05), establecidos en base a trabajos e investigaciones citados en la revisión bibliográfica.

**CUADRO N° 05: NIVELES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES ESTUDIADAS.**

	Niveles		
Variable X <sub>1</sub>	130	135	140
Variable X <sub>2</sub>	20	25	30

Variable X<sub>1</sub>: Temperatura de secado-tostado (°C)

Variable X<sub>2</sub>: Tiempo de secado-tostado (min)

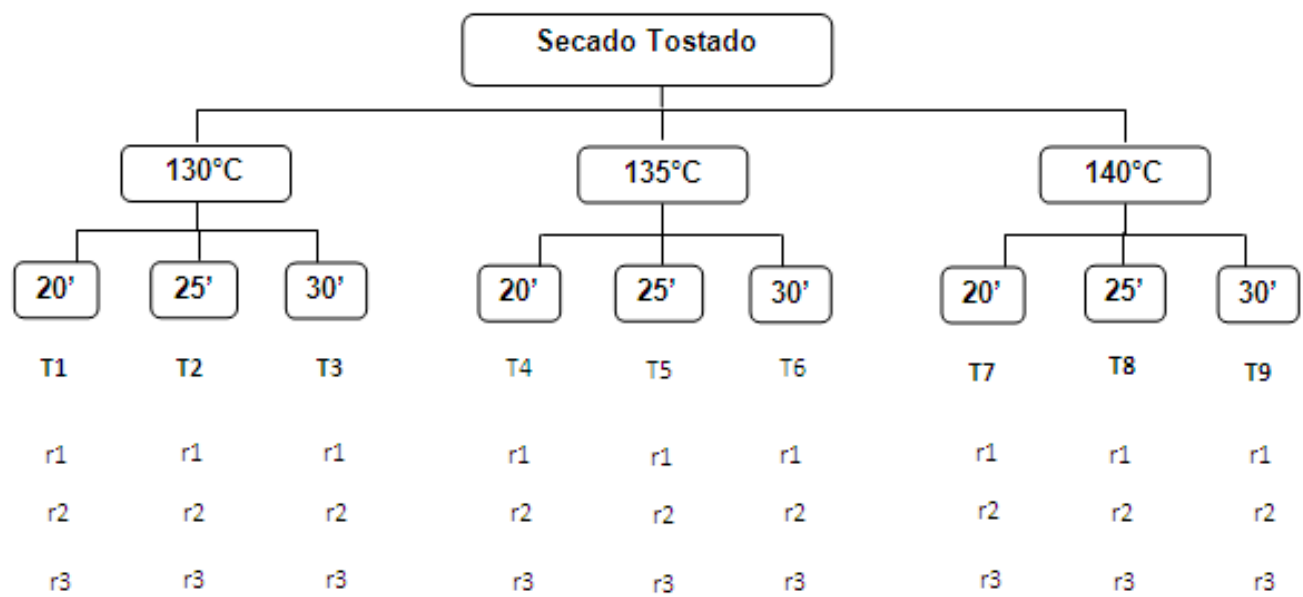
Fuente: Elaboración propia (2012)

Como se muestra en el diseño experimental detallado en la figura siguiente se procesaron los 9 tratamientos, cada uno con sus respectivas 3 repeticiones, haciendo un total de 27 repeticiones.

#### **5.4.2. Procesamiento y análisis de datos**

Para evaluar estadísticamente los efectos de la temperatura y el tiempo de secado-tostado se realizó un análisis de varianza ANVA a un 95% de confianza.

El diseño factorial 3<sup>2</sup> fue utilizado sólo como modelo para definir el número de tratamientos a realizar.



**FIGURA N°11: DISEÑO EXPERIMENTAL**

Fuente: Elaboración propia (2012)

## **5.5. Métodos analíticos**

### **5.5.1. Análisis proximal**

El análisis proximal fue realizado con la finalidad de conocer la composición proximal de las semillas de sachá inchi como materia prima.

#### **5.5.1.1. Humedad**

Se determinó la pérdida de peso de la muestra al someterse a calentamiento en estufa a 105°C hasta peso constante (Método pérdida de peso - AOAC, 1984).

#### **5.5.1.2. Lípidos**

El contenido en grasa bruta de un producto se define convencionalmente como la parte del mismo extraíble por un solvente orgánico en condiciones determinadas (Método Soxhlet - AOAC, 1984).

#### **5.5.1.3. Proteínas**

El contenido en proteína bruta de un producto es el resultado de multiplicar el contenido en nitrógeno,

determinado por el procedimiento Kjeldahl, por un factor (6,25) de transformación del nitrógeno en proteína (Método Kjeldahl – AOAC, 1984).

#### **5.5.1.4. Fibra cruda**

Tratar la muestra sin grasa si es necesario, con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido potásico de concentraciones conocidas. Separar el residuo por filtración, lavar, desecar y pesar el residuo insoluble (Método tratamiento ácido-alcalino – AOAC, 1982).

#### **5.5.1.5. Cenizas**

Residuo obtenido por incineración a una temperatura de 550°C hasta combustión completa de la materia orgánica y obtención de un peso constante (Método por calcinación – AOAC, 1984).

#### **5.5.1.6. Carbohidratos totales**

La composición proximal de un alimento está compuesta por: humedad, lípidos, proteína, fibra cruda, cenizas y carbohidratos totales. Por lo tanto se podrá determinar éste último por diferencia al conocer 5 de los 6 compuestos antes mencionados.

## **5.5.2. Evaluación microbiológica**

Debido a la naturaleza del producto (producto con bajo contenido en humedad), la evaluación microbiológica se realizó mediante el método de Recuento de Hongos y Levaduras.

## **5.5.3. Determinación del grado de oxidación de los lípidos**

### **5.5.3.1. Índice de acidez**

El índice de acidez, método por titulación – AOCS, 1989, es medido por la dilución de una muestra en una mezcla de disolventes, y titulación de los ácidos grasos libres presentes utilizando una solución alcalino-acuosa.

### **5.5.3.2. Índice de peróxidos**

El índice de peróxido, Método oficial AOCS Ja 8-87, determina todas las sustancias, en términos de meq (miliequivalentes) de peróxido por 1000 g de la muestra de ensayo, que oxidan el yoduro de potasio en las condiciones de la prueba. Estas sustancias son generalmente asumidas como peróxidos u otros productos similares de la oxidación de las grasas. Este

método es altamente empírico y una variación en el proceso de determinación puede resultar en una variación en el resultado final.

### **5.5.3.3. Absorbancia en el ultravioleta ( $\lambda$ 270 y 232)**

El coeficiente de extinción al ultravioleta  $K_{232}$  y  $K_{270}$ , del Método oficial AOCS Ch 5-91, provee información sobre la calidad de un aceite, su estado de preservación y los cambios que atraviesa en el proceso. El grado de oxidación del aceite de oliva es medido a 232 nm y 270 nm. La absorción a longitudes de onda específicas en el método es debido a la presencia de los sistemas de dienos y trienos conjugados. Un aceite de oliva virgen de buena calidad y con un correcto almacenaje contiene pocos productos de oxidación que absorben a una máxima longitud de onda de 270 nm.

El aceite o grasa a examinar se disuelve en el solvente requerido y luego se determina la extinción de la solución a una longitud de onda específica con referencia al solvente puro. Estas absorciones son expresadas como una extinción específica  $E^{1cm}$  (la extinción del 1% de la solución del aceite en el solvente específico, en una

cubeta de 1 cm de diámetro), convencionalmente indicado por K.

#### **5.5.3.4. *Evaluación sensorial***

Las muestras de snacks de sachá inchi envasadas en bolsas trilaminadas (polietileno, aluminio, polietileno) fueron almacenadas a temperatura ambiente y por un periodo de 64 días al término del cual fueron sometidas a evaluación por un grupo de 5 panelistas semi-entrenados mediante un test hedónico. Este grupo de panelistas evaluó la aceptación general del producto, su sabor, su apariencia y la crocantez del producto, atributos característicos de los snacks.

## **VI. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS**

### **6.1. Materia prima**

#### **6.1.1. Análisis proximal**

El cuadro N°06 muestra la composición proximal de las semillas de sachá inchi crudas, en el cual se observa que las grasas, las proteínas y las fibras son los componentes predominantes con 43,87%, 28,73% y 12,91% valores similares a los obtenidos por Adriaén y Otros (2011) 45%, 25,07% y 13,09% respectivamente; y, en proteínas, más cercanos aún a los obtenidos por Hazen y Stowesand (1980) que fue de 29,00%. El contenido en carbohidratos 6,93% muestra un valor ligeramente más elevado que el encontrado por Adriaén y Otros (2011) que fue de 6,76%. Las semillas ofrecen una menor cantidad de humedad (4,95%) en comparación a la encontrada por García (1992) que fue de 5,63%. Por último la

cantidad de cenizas encontradas en la muestra fue 2,61% valor similar al obtenido por García (1992) que fue de 2,80%.

Las diferencias encontradas pueden deberse a la diferencia de especies o ecotipos utilizados para el análisis por los demás autores y el utilizado en este trabajo de investigación, así como también a los métodos de análisis utilizados.

**CUADRO N° 06: ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI CRUDAS DESCASCARILLAS**

<b>Componentes</b>	<b>Sacha inchi (%bh)</b>
Grasa	43,87
Proteínas	28,73
Humedad	4,95
Cenizas	2,61
Fibras	12,91
Carbohidratos*	6,93

(\*) Obtenido por diferencia

Fuente: Elaboración propia (2012)

## 6.2. Producto terminado

### 6.2.1. Diagrama de flujo definitivo

Al no existir un flujograma para la elaboración de sachá inchi en snack, se propone el siguiente (Fig.N°12), a partir de la información bibliográfica encontrada.



**FIGURA N°12: FLUJOGRAMA DE ELABORACIÓN DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI SECADAS-TOSTADAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

### **6.2.1.1. Recepción**

La materia prima (semillas de sachá inchi) es recepcionada en bolsas de rafia a temperatura ambiente, y se acondiciona sobre la mesa de trabajo para el proceso siguiente (Fig.N°13).



**FIGURA N°13: MATERIA PRIMA**

Fuente: Elaboración propia (2012)

### **6.2.1.2. Selección**

Se seleccionan las semillas que no tienen signos de deterioro por enmohecimiento, daños físicos (semillas rotas) o semillas descascaradas, todo lo cual favorece el deterioro oxidativo (Fig.N°14).



**FIGURA N°14: SEMILLAS PARTIDAS Y ENMOHECIDAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

### **6.2.1.3. Descascarillado**

Las semillas seleccionadas son desprovistas de su capa leñosa exterior para obtener la almendra (Fig.N°15).



**FIGURA N°15: CÁSCARAS Y SEMILLAS PELADAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.1.4. Secado-tostado**

En el proceso de secado-tostado se someten las semillas descascaradas a un proceso de secado por ebullición en donde se utiliza como medio de transferencia de calor al aceite vegetal marca “Cocinero”, y se trabaja a temperaturas y tiempos determinados (Fig.N°16 y 17).



**FIGURA N°16: PROCESO DE SECADO POR EBULLICIÓN**

Fuente: Elaboración propia (2012)



**FIGURA N° 17: BURBUJEO (SALIDA DEL AGUA)**

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.1.5. Ecurrido**

Luego del proceso de secado-tostado de las semillas estas se impregnan del aceite del medio utilizado para la transferencia de calor el cual es retirado mediante el escurrido utilizando toallas de papel absorbente.



**FIGURA N°18: SEMILLAS ESCURRIDAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.1.6. Salado**

El producto escurrido es salado con la aspersion de sal micropulverizada (2,88% del peso del producto secado y tostado) (Fig.N°19).



**FIGURA N°19: SEMILLAS SALADAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.1.7. Enfriado**

El producto escurrido es dejado enfriar unos minutos sobre una bandeja para el descenso de su temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente.

#### **6.2.1.8. Envasado**

Una vez las semillas desprovistas del aceite mediante el escurrido y enfriadas a temperatura ambiente se procede a envasar el producto en bolsas trilaminadas con la ayuda de una selladora térmica.



**FIGURA N° 20: SEMILLAS ENVASADAS**

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.1.9. Almacenado**

El producto envasado fue almacenado en un ambiente fresco al abrigo de la luz y el calor, a una temperatura aproximada de 20°C.

## 6.2.2. Evaluación fisicoquímica

### 6.2.2.1. *Índice de acidez*

El cuadro siguiente muestra los promedios del índice de acidez de las 3 repeticiones para cada uno de los 9 tratamientos, en un tiempo de almacenaje de 64 días (día 1, 16, 32, 48 y 64). De estos valores se obtiene la figura N°21 que presenta una curva con un comportamiento sinusoidal e inestable del índice de acidez evaluado, la cual se explica a continuación para cada periodo de evaluación. En el día 1 se puede observar que todos los tratamientos presentan un índice de acidez inicial entre 0,3 y 0,5, valores que se diferencian poco entre los tratamientos, debido a la hidrólisis que sufrieron los triglicéridos en el proceso. Desde el inicio del almacenaje hasta el día 16, y desde el cerca al día 48 hasta el día 64 se evidencia un incremento del índice de acidez para todas las muestras, esto se puede explicar por la lipólisis enzimática producida por las esterasas, enzimas resistentes a las temperaturas y que pueden

quedar activas después del secado-tostado (Keme y Otros, 1983), asimismo la oxidación de los minerales contenidos en el sachá inchi como el magnesio y el hierro, catalizan a velocidades variables la oxidación de los ácidos grasos insaturados en los granos tostados, incluso a temperaturas de almacenaje muy débiles (Cuq, 1992 ; St Angelo y Ory, 1975). Estos factores favorecen fuertemente el incremento de acidez en el producto.

Un comportamiento contrario se puede apreciar desde el día 16 hasta el 48, el índice de acidez sufre una caída, se produce una disminución de los ácidos grasos libres debido a una serie de reacciones oxidativas que se acentúan en estos días y que ocurren en el interior del producto en las cuales los ácidos grasos son utilizados para ser transformados en productos de oxidación primaria y secundaria como los hidroperóxidos, aldehídos, cetonas, etc. (Bolland y Gee, 1946)

La curva muestra que los valores de todos los tratamientos evaluados no superan el 1% de acidez expresado en ácido oleico adjudicado para un aceite de

sacha inchi extra virgen por la NTP 151.400:2009, valor indicador de la variable en estudio.

**CUADRO N° 07: ÍNDICE DE ACIDEZ DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE EN 64 DÍAS.**

TRATAMIENTO	DÍAS				
	1	16	32	48	64
<b>T1</b>	0,3025	0,4300	0,4088	0,2766	0,5573
<b>T2</b>	0,3697	0,5189	0,3800	0,2470	0,6292
<b>T3</b>	0,3697	0,5931	0,4010	0,3216	0,4489
<b>T4</b>	0,4369	0,6820	0,2423	0,2792	0,5840
<b>T5</b>	0,4033	0,4596	0,3016	0,2744	0,4220
<b>T6</b>	0,3361	0,4448	0,2720	0,2411	0,3557
<b>T7</b>	0,3865	0,4448	0,2598	0,3378	0,5564
<b>T8</b>	0,4033	0,4003	0,2459	0,3707	0,3306
<b>T9</b>	0,4873	0,6079	0,2721	0,3150	0,3277

Fuente: Elaboración propia (2012)

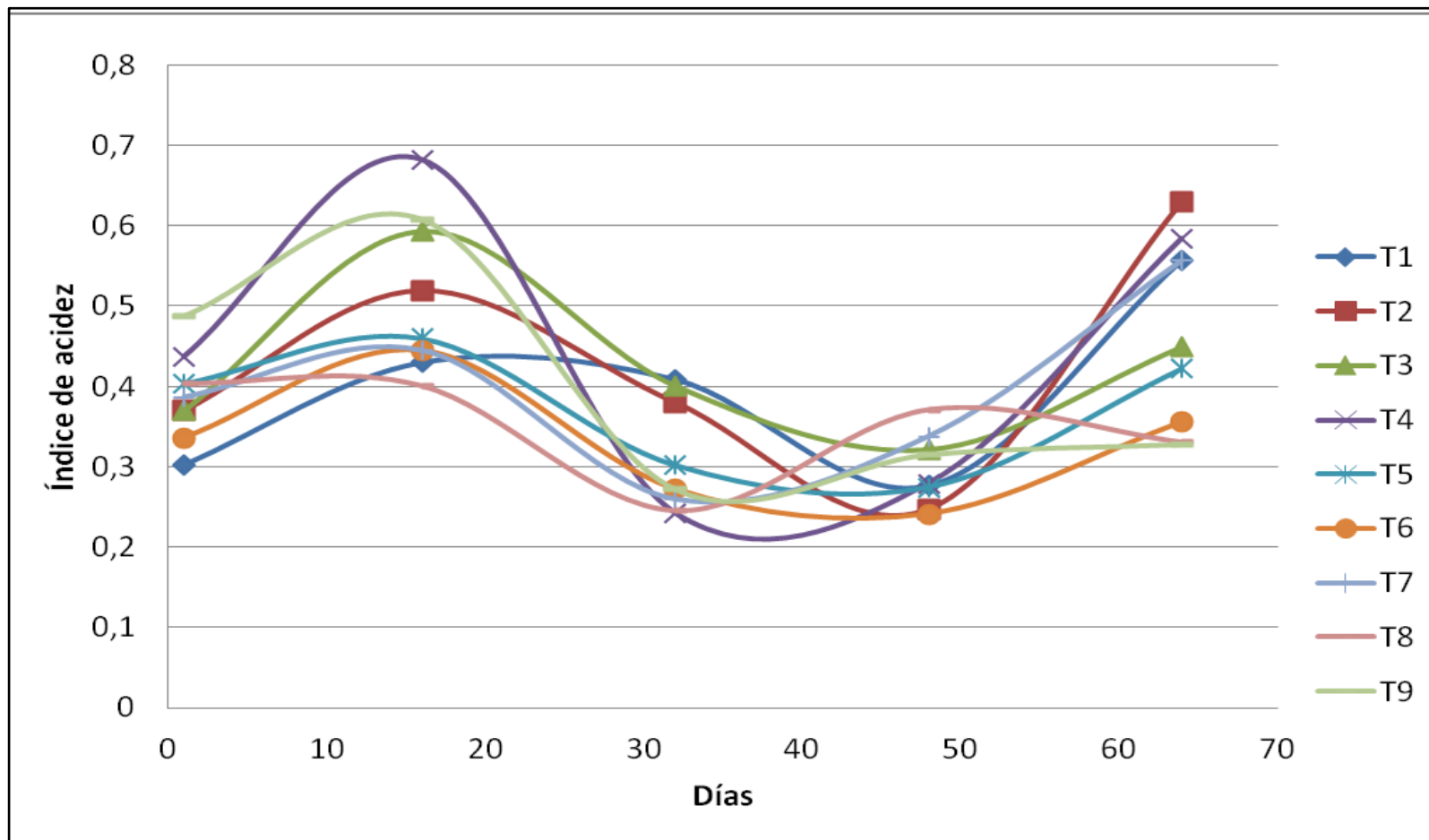


FIGURA N° 21: CURVA DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE DE 64 DÍAS

Fuente: Elaboración propia (2012)

#### **6.2.2.2. Índice de peróxidos**

Se evaluaron las muestras de todos los tratamientos el día 1, 16 y 32 con el método oficial de la AOCS Ja 8-87 (2009) "Peroxide value". Para todas las muestras evaluadas en los tres días no se observó el viraje de color al momento de agregar el indicador de almidón (el paso de amarillo pálido a azul), como indica el método, por lo cual se envió una muestra al laboratorio CITE Agroindustrial para verificar estos resultados. En el anexo N°03 se encuentra el resultado del laboratorio que confirmó los primeros resultados obtenidos.

Estos resultados se pueden explicar por la poca disponibilidad del yodo en la reacción debido a que éste se encuentra fijado por los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados del sachá inchi, que impiden su neutralización con el tiosulfato (Codony, R. y Otros, 2010). También se podría adjudicar este resultado a que posiblemente el producto haya presentado cantidades pequeñas de peróxidos o que éstos se hayan volatilizado durante el procesamiento debido a la temperatura

(Lawson, 1999), quedando así residuos que no pudieron ser detectados por este método. Por último, también se puede presumir la existencia de un compuesto en el producto final que impide la medida de los peróxidos con el método yodimétrico.

Por lo tanto se decidió no continuar analizando con este método los demás días y obtener esta información del progreso de los hidroperóxidos por medio de la medida del índice de absorbancia al UV a 232 nm, cuyos valores se correlacionan de forma excelente con los valores del índice de peróxidos en la mayoría de las grasas (Codony, R. y Otros, 2010).

#### **6.2.2.3. Absorción de la fracción lipídica al UV a 232 y 270nm**

Esta prueba confirma la existencia de peróxidos e hidroperóxidos que no pudieron ser evaluados por medio del índice de peróxidos.

El cuadro N°08 muestra los promedios del índice de absorbancia  $K_{232}$  de las 3 repeticiones para cada uno de

los 9 tratamientos, en un tiempo de almacenaje de 64 días. Se evaluaron los días 1, 48 y 64 para los 9 tratamientos, y los tratamientos 1, 4, 7 y 8 para el día 32. No se evaluaron los tratamientos 2, 3, 5, 6 y 9 del día 32, ni ninguno del día 16 debido a la escasez de reactivos en el laboratorio en las fechas de evaluación.

De estos valores se obtiene la figura N°22 que presenta una curva con un comportamiento inestable y complejo de interpretar, especialmente en productos sometidos a altas temperaturas, en los que la destrucción de peróxidos está fuertemente catalizada.

Iniciando el almacenaje hasta el día 32 la cantidad de hidroperóxidos producidos durante la elaboración del producto disminuye ligeramente dando lugar a la formación de productos secundarios. Entre el día 32 y el día 48 se ve un notable incremento de los compuestos de oxidación primaria, debido a la disponibilidad de  $O_2$  proveído por la ineficaz hermeticidad del envase utilizado o posiblemente al oxígeno triplete presente en el envase al momento del cierre del mismo. Entre el día 48 y el día 64 se vuelve a experimentar una caída del índice de

absorbancia  $K_{232}$  posiblemente como resultado de la disminución del oxígeno triplete, ya utilizado en procesos de oxidación anteriores, para continuar el proceso de oxidación primaria. En este último tramo de tiempo se exceptúa el tratamiento 4 y 6 que muestran un comportamiento de ascenso diferente al de los demás.

Casi todos los tratamientos sobrepasan el indicador,  $K_{232} \leq 2,60$  (aceite de oliva virgen) Codex Alimentarius CODEX STAN 33-1981, en el día 48, mientras que en el día 1 y 64 la mayoría de tratamientos se encuentra por debajo de este valor.

**CUADRO N° 08: ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{232}$  DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE EN 64 DÍAS**

TRATAMIENTO	DÍAS			
	1	32	48	64
<b>T1</b>	1,9871	1,8108	2,7841	2,6448
<b>T2</b>	2,2729		2,6551	1,4108
<b>T3</b>	1,1735		2,7610	1,4456
<b>T4</b>	1,8541	2,1042	2,8843	2,9540
<b>T5</b>	1,9963		2,9421	2,8220
<b>T6</b>	1,8584		2,3353	2,8734
<b>T7</b>	2,1931	2,0671	2,5732	2,3767
<b>T8</b>	1,7347	2,3088	2,7720	1,6512
<b>T9</b>	2,3954		2,6620	2,1016

Fuente: Elaboración propia (2012)

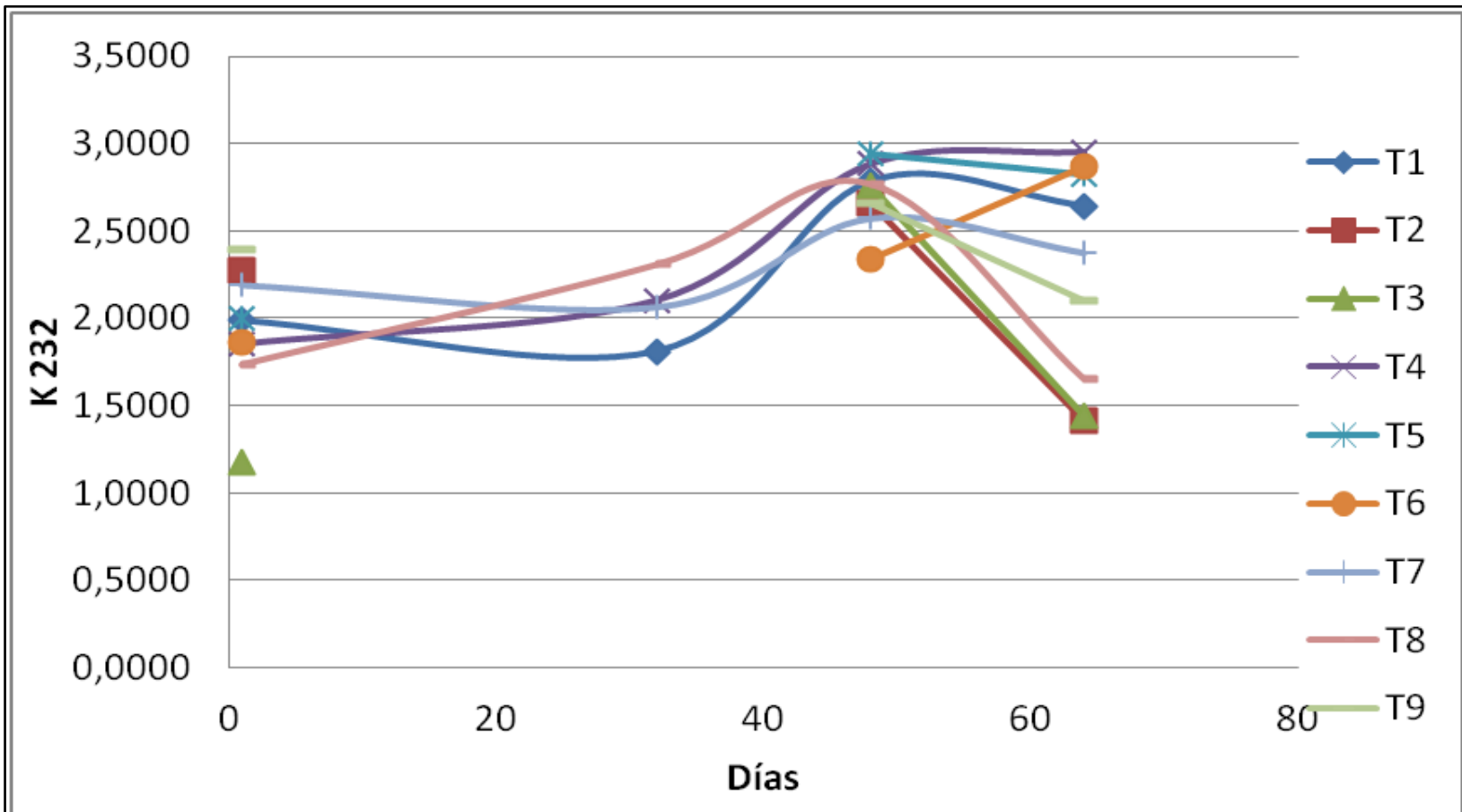


FIGURA N° 22: CURVA DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{232}$  DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE DE 64 DÍAS

Fuente: Elaboración propia (2012)

El cuadro siguiente muestra los promedios del índice de absorbancia  $K_{270}$  de las 3 repeticiones para cada uno de los 9 tratamientos, en un tiempo de almacenaje de 64 días. Se evaluaron los días 1, 48 y 64 para los 9 tratamientos, y los tratamientos 1, 4, 7 y 8 para el día 32. No se evaluaron los tratamientos 2, 3, 5, 6 y 9 del día 32, ni ninguno del día 16 debido a la escasez de reactivos en el laboratorio en las fechas de evaluación.

De estos valores se obtiene la figura N°23 que presenta una curva con un comportamiento paralelo al índice  $K_{232}$  en el periodo de evaluación de 64 días, el mismo comportamiento fue encontrado por Önal y Ergin (2002).

Iniciando el almacenaje hasta el día 32 la cantidad de compuestos de oxidación secundaria producidos durante la elaboración del producto se mantiene constante. Entre el día 32 y el día 48 se ve un notable incremento de éstos compuestos, debido al incremento de compuestos precursores (peróxidos e hidroperóxidos). Entre el día 48 y el día 64 se experimenta una caída del índice  $K_{270}$  posiblemente como resultado de la disminución de los

productos de oxidación primaria ya utilizados en procesos anteriores. En este último tramo de tiempo, de igual manera que para la curva del  $K_{232}$ , se exceptúa el tratamiento 4 y 6 que muestran un comportamiento diferente al de los demás.

Todos los valores del índice  $K_{270}$  se encuentran por debajo de 0,9, valor máximo atribuido al aceite de oliva por la norma CODEX STAN 33-1981 del Codex Alimentarius, excepto el tratamiento 4 en el último día de evaluación.

**CUADRO N° 09: ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{270}$  DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE EN 64 DÍAS**

TRATAMIENTO	DÍAS			
	1	32	48	64
<b>T1</b>	0,3911	0,4151	0,6985	0,5807
<b>T2</b>	0,5195		0,7378	0,2207
<b>T3</b>	0,2419		0,8417	0,2271
<b>T4</b>	0,4235	0,4837	0,8075	0,9438
<b>T5</b>	0,4353		0,8539	0,7044
<b>T6</b>	0,4351		0,5184	0,7413
<b>T7</b>	0,4616	0,4678	0,5822	0,4488
<b>T8</b>	0,3398	0,5255	0,7048	0,3107
<b>T9</b>	0,5316		0,7163	0,4860

Fuente: Elaboración propia (2012)

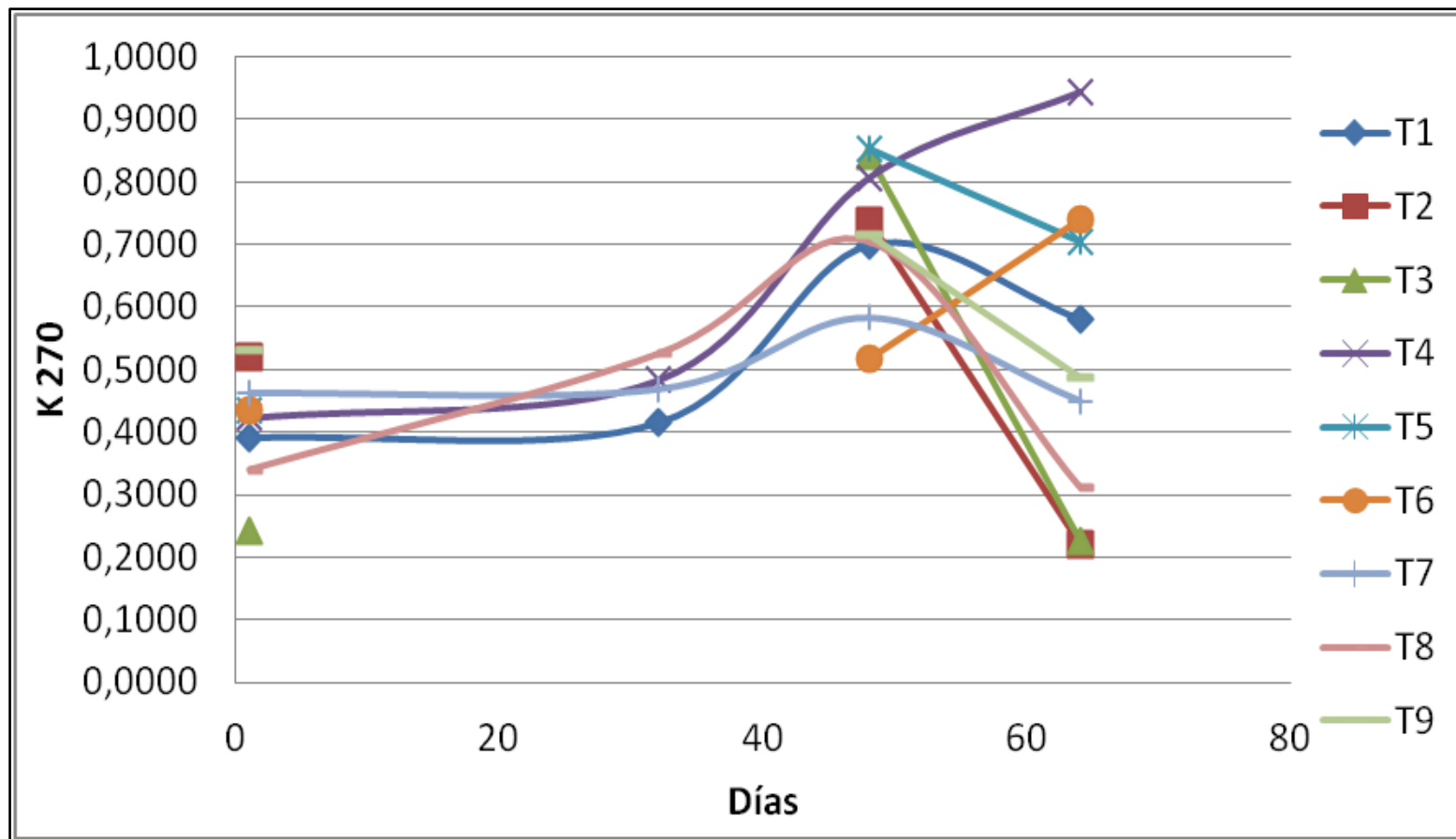


FIGURA N° 23: CURVA DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{270}$  DE LOS PRODUCTOS EN ALMACENAJE DE 64 DÍAS

Fuente: Elaboración propia (2012)

### **6.2.3. Evaluación estadística**

#### **6.2.3.1. *Análisis físico-químico***

La evaluación estadística realizada mediante un análisis de varianza, ANVA, para los resultados del índice de acidez y de los  $K_{232}$  y  $K_{270}$ , a un 95% de confianza y con un valor de error de probabilidad de 5% o 0,05 se presenta en los cuadros N°10, 11 y 12 para el primer día de evaluación. Los ANVA de la evaluación de los indicadores para todos los días se encuentran en el anexo N°04. El resultado de todos los ANVA realizados se resume en el cuadro N°13.

En el análisis de acidez la influencia que tuvieron las variables independientes así como la interacción de ellas no fue significativa para el primer día de almacenaje.

Para el día 16 la interacción como el tiempo en la evaluación de acidez es significativa. Para el día 32 ocurre lo contrario, en este caso solo la temperatura es significativa sin embargo el tiempo y la interacción dejan

de serlo. Esta misma tendencia continúa hasta el día 64, en el cual la variable tiempo y la interacción tiempo-temperatura se convierten en significativas lo cual es índice de que el deterioro se asevera con el tiempo de almacenaje.

CUADRO N° 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ DEL PRODUCTO, EN EL DÍA 1.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tiempo (min)	0,0025	2,0000	0,0013	0,1970	0,8230	3,5546
Temperatura (°C)	0,0287	2,0000	0,0143	2,2424	0,1350	3,5546
Interacción T min/T °C	0,0411	4,0000	0,0103	1,6061	0,2159	2,9277
Dentro del grupo	0,1151	18,0000	0,0064			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 11: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{232}$  DEL PRODUCTO, EN EL DÍA 1.**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,2340	2,0000	0,1170	12,0595	0,0005	3,5546
Temperatura (°C)	0,4150	2,0000	0,2075	21,3883	0,0000	3,5546
Interacción T min/T °C	2,4454	4,0000	0,6114	63,0163	0,0000	2,9277
Dentro del grupo	0,1746	18,0000	0,0097			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 12: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{270}$  DEL PRODUCTO, EN EL DÍA 1.**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,0041	2,0000	0,0021	4,4747	0,0265	3,5546
Temperatura (°C)	0,0180	2,0000	0,0090	19,6580	0,0000	3,5546
Interacción T min/T °C	0,1686	4,0000	0,0421	91,9056	0,0000	2,9277
Dentro del grupo	0,0083	18,0000	0,0005			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 13: RESUMEN DE LOS ANVA REALIZADOS A LA EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL PRODUCTO (P VALOR < 0,05)**

	<b>Día 1</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 32</b>	<b>Día 48</b>	<b>Día 64</b>
<b>Acidez</b>					
T (°C)	0,13503NS	0,37041NS	0,00069	0,00745	0,00229
θ (min)	0,82296NS	0,03184	0,93897NS	0,96524NS	0,00013
T θ	0,21594NS	0,00016	0,81906NS	0,18160NS	0,02604
<b>Índice de absorbancia al UV a 270 nm (K<sub>270</sub>)</b>					
T (°C)	0,0297x10 <sup>-3</sup>	(no se realizaron análisis)		0,00016	0,0140x10 <sup>-15</sup>
θ (min)	0,02645			0,00057	0,0141x10 <sup>-10</sup>
T θ	0,0100x10 <sup>-9</sup>			0,0437x10 <sup>-7</sup>	0,0199x10 <sup>-6</sup>
<b>Índice de absorbancia al UV a 232 nm (K<sub>232</sub>)</b>					
T (°C)	0,0017x10 <sup>-3</sup>	(no se realizaron análisis)		0,57722NS	0,0416x10 <sup>-11</sup>
θ (min)	0,00047			0,01251	0,0557x10 <sup>-8</sup>
T θ	0,0024x10 <sup>-7</sup>			0,00096	0,0253x10 <sup>-5</sup>

NS: No significativo

Fuente: Elaboración propia (2012)

Por otro lado la evaluación del índice de absorbancia K<sub>270</sub> y K<sub>232</sub> en el día 1 nos muestra que todos los valores son significativos tanto los factores como su interacción influyen significativamente en la respuesta, sin embargo entre

temperatura y tiempo es la temperatura la que muestra mayor significancia, y entre ellos y el factor interacción, es la interacción la que muestra una mayor significancia, por la razón de que tiene un menor error de probabilidad, en consecuencia la variación de la respuesta se debe más a la combinación de los factores que de manera individual al efecto de cada uno de ellos en este día.

El día 48 ocurre algo similar, la interacción sigue teniendo la mayor significancia, no obstante se puede observar un comportamiento extraño en la evaluación del  $K_{232}$  para este día la temperatura no es significativa, comportamiento que no sigue una coherencia con los demás en estudio.

Sin embargo a partir del día 48 para ambas mediciones,  $K_{270}$  y  $K_{232}$ , es el factor temperatura el que se muestra más significativo y con un menor error que el factor tiempo y la interacción. Esto se puede explicar debido a que a medida que el tiempo de almacenaje aumenta, el deterioro se acentúa y las respuestas muestran valores más elevados y pueden diferenciarse mejor.

Entonces se concluye que la temperatura de secado-tostado aparece como el factor más importante y más

influyente sobre la oxidación de los lípidos de las nueces y semillas oleaginosas: las tasas de oxidación de las nueces y semillas oleaginosas aumentan considerablemente con la elevación de la temperatura de proceso. La duración del proceso tiene por el contrario una influencia menor sobre los niveles de oxidación y el tiempo de vida posterior como lo demostraron también Perren y Escher (2007).

#### **6.2.3.2. *Análisis sensorial***

La evaluación sensorial fue realizada a las 11am el día 64, y estuvo a cargo de un panel de 5 jueces semi-entrenados, en el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la EAP de Ingeniería en Industrias Alimentarias. El cuadro N°14 muestra el ANVA realizado a los resultados de la evaluación de la aceptación general del producto. Los ANVA de la evaluación de los atributos sabor, crocantez y apariencia se encuentran en el anexo N°05. El resultado de todos los ANVA se resume en el cuadro N°15.

**CUADRO N° 14: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA ACEPTACIÓN GENERAL DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI.**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	4,3111	2,0000	2,1556	1,3108	0,2822	3,2594
Temperatura (°C)	12,5778	2,0000	6,2889	3,8243	0,0312	3,2594
Interacción T min/T °C	3,0222	4,0000	0,7556	0,4595	0,7649	2,6335
Dentro del grupo	59,2000	36,0000	1,6444			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 15: EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO (P VALOR < 0,05)**

	<b>Acept. Gral.</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Crocantez</b>	<b>Sabor</b>
<b>T (°C)</b>	0,03119	0,01735	0,30199 NS	0,07453 NS
<b>Θ (min)</b>	0,28216 NS	0,56237 NS	0,30199 NS	0,27336 NS
<b>T Θ</b>	0,76490 NS	0,96961 NS	0,29829 NS	0,48597 NS

NS: No significativo

Fuente: Elaboración propia (2012)

El tiempo y la interacción tiempo-temperatura no tuvo significación alguna en la evaluación de la aceptación general del producto ni de sus atributos sabor, crocantez y apariencia. Por otro lado se ha encontrado que el factor temperatura de secado-tostado presenta una significación > al 95% en la “aceptación general” del producto y en el atributo “aparencia”, lo cual no se puede observar para los demás atributos sabor y crocantez que se presentan como “no significativos” en la evaluación estadística.

#### **6.2.4. Evaluación microbiológica**

Las muestras evaluadas no reportaron ninguna colonia, comprobándose así la inocuidad del producto.

#### **6.2.5. Balance de masa**

En el cuadro N°16 se muestra el balance de materia para el procesamiento de los 9 tratamientos. Se utilizaron 2,9 kg de semillas crudas de Sacha Inchi y se obtuvieron 1,845 kg de semillas secadas-tostadas. Lo cual nos da un rendimiento de la materia prima de 63,62%.

CUADRO N° 16: BALANCE DE MATERIA

<b>Operaciones</b>	<b>Materia prima e insumos</b>	<b>Masa que ingresa (kg)</b>	<b>Masa que sale (kg)</b>	<b>Masa que continua (kg)</b>
<b>Recepción</b>	Semillas SI	<b>2,900</b>	0,000	0,000
<b>Selección</b>	Semillas SI	2,900	0,130	2,770
<b>Descascarillado</b>	Semillas SI	2,770	0,895	1,875
<b>Secado-Tostado</b>	Semillas SI	1,875	0,000	1,995
	Ac. Veget.*	0,690	0,515	0,175
<b>Ecurrido</b>	Semillas SI	1,995	0,175	1,820
	Ac. Veget.*	0,175	0,175	0,000
<b>Salado</b>	Semillas SI	1,820	0,000	1,845
	Sal	0,054	0,029	0,025
<b>Envasado</b>	SI	1,845	0,000	<b>1,845</b>

SI: Sacha Inchi

\*densidad del aceite vegetal (composición mayoritaria de aceite de soja)=0,920 kg/m<sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia (2012)

## VII. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la temperatura y el tiempo de secado-tostado influyen sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*).
2. El ANVA al 95% de confianza, muestra que la temperatura de secado-tostado es el factor más influyente sobre la oxidación de las semillas, mientras que el tiempo de duración del proceso tiene una influencia menor.
3. Se determinó que el tratamiento T2 (130°C-25min) reporta una mejor calidad físico-química y un mejor puntaje en el atributo “crocantez”; y el tratamiento T1 (130°C-20min) tiene mejor “aceptación general” y un mayor puntaje en los atributos “apariencia” y “sabor”.

4. Se determinó que el índice de acidez del producto tiene un comportamiento inestable, sin embargo se encuentra por debajo del 1% de acidez expresado en ácido oleico, valor adjudicado para un aceite de sachá inchi extra virgen.
5. El análisis del índice de absorbanza al UV,  $K_{232}$ , confirmó la existencia de peróxidos e hidroperóxidos que no pudieron ser evaluados por medio del análisis del índice de peróxidos. En el día 1 y 64 de evaluación la mayoría de tratamientos se encuentra por debajo del indicador,  $K_{232} \leq 2,60$  (aceite de oliva virgen), mientras que en el día 48 ocurre lo contrario.
6. Todos los valores del índice  $K_{270}$  se encuentran por debajo del indicador  $K_{270} \leq 0,9$  (aceite de oliva) en todos los días de evaluación, excepto aquel del tratamiento 4 en el último día de evaluación.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los investigadores realizar un estudio ampliando el tiempo de evaluación, mayor de 64 días, para determinar el tiempo de vida y el mantenimiento de la calidad fisicoquímica del producto.
2. Realizar el índice de p-anisidina, método más seguro y menos contaminante, para obtener una información más completa sobre el deterioro del sachá inchi.
3. Utilizar un diseño del tipo de aplicación con metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para la optimización de los parámetros de procesamiento, tiempo y temperatura.
4. Se recomienda a los consumidores de snack de sachá inchi (secado-tostado) disminuir la ingesta de este tipo de producto debido a que el

procesamiento favorece su oxidación, deteriorando su calidad fisicoquímica y dando lugar a productos tóxicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADDIS P. B. "Occurrence of lipid oxidation products in foods". En: *Food and Chemical Toxicology*. 1986. N° 24. Páginas 1021 al 1030.
2. ADRIAN J. y Otros. "Les manifestations de la réaction de Maillard en nutrition et pathologie". En : *Médecine et nutrition*. 2000. N° 36. Páginas 69 al 89.
3. ADRIAN, J. y Otros. "*Science Alimentaire de A à Z*". En : Lavoisier Tec & Doc ed. Paris. 1999.
4. ADRIAZÉN, N. y Otros. "Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico de las almendras trituradas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el rendimiento y las características físico-químicas del aceite obtenido por prensado mecánico en frío". En: *Agroindustrial Science*. Universidad Nacional de Trujillo. 2011.
5. AFSSA. "Estimation de l'exposition à l'acrylamide de la population française (adultes et enfants)". En : *Note technique*. 2004. OCA/AT/2004-232.

6. AHMED, E. M. y C. T. YOUNG. "Composition, quality, and flavor of peanuts". En: *Peanut Science and Technology*. H. E. Pattee, Young, C. T. (eds.), Yoakum, Texas: Amer. Peanut Res. & Educ. Soc., Inc. 1982. Páginas 655 al 688.
7. AITZETMUELLER, K. y L. BRUEHL. "Composición del sachá inchi". En: *MRI* (Max Rubner-Institut <http://sofa.mri.bund.de/>). 2012.
8. AMARAL, J. S. y Otros. "Effects of roasting on hazelnut lipids". En: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2006. N° 54. Sección 4. Páginas 1315 al 1321.
9. ANDREONI, N. "Hazelnut phenolic substances as natural antioxidants". En: *Acta Horticulturae*. 1996. N° 445, Páginas 217 al 221.
10. ARÉVALO G. "Colección, caracterización y mantenimiento de germoplasma de oleaginosas nativas". En: *Informes Anuales 1990-1995*. INIA. Estación Experimental Agraria El Porvenir-Tarapoto. 1996.
11. ASAKAWA, T. y S. MATSUSHITA. "Test de Tiobarbitúrico para la detección de peróxidos lípidos". En: *Lipids*. 1980. N° 14. Página 400.
12. BARCELÓ-COBLIJN G. y E.J. MURPHY. "Ácido alfa-linolénico y su conversión a cadena larga de ácidos grasos n-3: beneficios para la

- salud humana y juegan un rol en el mantenimiento de los tejidos”. En:  
*Prog Lipid Res.* 2009. N°48. Sección 6. Páginas 355 al 374.
13. BAILEY. *Aceites y grasas industriales*. Editorial Reverté. Barcelona. 1961. Páginas.122 al153.
14. BAUMANN, B. y F. ESCHER. “Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake”. En: *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 1995. N° 28. Páginas 395 al 403.
15. BERNARDINI. *Tecnología de aceites y grasas*. Editorial Alhambra. S.A. 1981 Madrid. Páginas 234 al 239.
16. BETT, K. L. y T. D. BOBYLSTON. “Effect of storage on roasted peanut quality”. En: *Lipid Oxidation in Foods*, American chemical Society, USA. Páginas 322 al 343.
17. Boletín FAO. *Agricultural Services*. 2010. N°94.
18. BONDIOLI, P. y Otros. “Composición del aceite peruano de *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) rica en ácido alfa linolénico”. En: *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*. 2006. N° 83: LXXXIII. Páginas 120 al 123.
19. BOLLAND, J. L. y G. GEE. “Los estudios cinéticos en la química del caucho y materiales relacionados. II”. La cinética de la oxidación de

- olefinas no conjugadas. En: *Transactions of the Faraday Society*. 1946. N° 42. Páginas 236 al 243. DOI: 10.1039/TF9464200236.
20. BRACK A. *Diccionario enciclopédico de plantas útiles de Perú*. Cusco. Centro Bartolomé de las Casas. 1999.
21. BRAY, G. A. y Otros. "The influence of different fats and fatty acids on obesity, insulin resistance and inflammation". En: *Journal of Nutrition*. 2002. N° 132. Páginas 2491 y 3488.
22. BUCKHOLZ, L. L. y Otros. "E. Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts". En: *Journal of Food Science*. 1980. N° 45. Páginas 547 al 554.
23. BURCHAM, P. C. y T. KUHAN. "Introducción de grupos carbonilo en proteínas por el producto de la peroxidación lipídica, malonaldehído". En: *Biochemical and Biophysical Communications*. 1996. N° 220. Páginas 996 al 1001.
24. BUSSMANN R.W. y Otros. "Plukenetia huayllabambana sp. nov. (Euphorbiaceae) desde la selva alta del Perú". En: *Nordic Journal of Botany*. 2009. N° 27. Páginas 313 al 315.
25. CAMMARN, S. R. y Otros. "Continuous fluidized-bed roasting". En: *Chemical Engineering Progress*. 1990. Páginas 40 al 46.

26. CHAN, H. W. S. y Otros. "La descomposición térmica de los distintos isómeros de posición del hidroperóxido de linoleato de metilo: evidencia de la escisión del enlace carbono-oxígeno". En: *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1976. N° 50. Páginas 572 al 576.
27. CHEN, H. y Otros. "Mixed tocopherol preparation is superior to alpha-tocopherol alone against hypoxia-reoxygenation injury". En: *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2002. N° 291. Páginas 349 al 353.
28. CHIOU, R. Y. y Otros. "Variation of flavor related characteristics of peanuts during roasting as affected by initial moisture contents". En: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1991. N°39. Páginas 1155 al 1158.
29. CHIOU, R. Y. y T. TSAI. "Characteristics of peanut proteins during roasting as affected by initial moisture content". En: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1989. N°37, Páginas 1377 al 1381.
30. CHUN, J. y Otros. "Vitamin E and oxidative stability during storage of raw and dry roasted peanuts packaged under air and vacuum". En: *Journal Food Science*. N°70 (4). Páginas 292 al 297.

31. CILLARD, J. y CILLARD. "Pro-oxidant effect of alpha-tocopherol on essential fatty acids in aqueous media". En: *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation*. 1980. N° 34 (3). Páginas 579 al 592.
32. CODONY, R. y Otros. "Valoración analítica y nutricional de las grasas". En: *XXVI Curso de especialización FEDNA*. Departamento de nutrición y bromatología. Universidad de Barcelona. 2010.
33. COSTA, R. M. y F. A. R. OLIVEIRA. "Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model". En: *Journal of Food Engineering*. 1999. N° 41. Páginas 177 al 185.
34. COUDRON, O. "*Mangez votre santé va changer*". Brussels. Racine. 2010.
35. CUPPETT S. "Índices de calidad del aceite". En: *Wrolstad RE y Otros (eds). "Protocolos actuales en la química analítica de los alimentos"*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001. Páginas D1.4.1 al D1.4.3.
36. CUQ, J. L. "Qualité de nos aliments et technologies. In *Alimentation et nutrition humaines*", Dupin H. Paris. ESF. 1992. Páginas 1235 al 1259.
37. DAMAME, S. V. y Otros. "Effect of roasting on protein and oil in peanut kernels". En: *Plant Foods for Human Nutrition*. 1990. N° 40 (2). Páginas 143 al 148.

38. DERGAL, B. *Química de los Alimentos*. México. Pearson Educación. 1993. Páginas 268 al 269.
39. DOBARGANES, C. y Otros. "Interactions between fat and food during deep-frying". En: *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2000. N° 102. Páginas 521 al 528.
40. EDEM, D. O. "Palm oil. Biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects: a review". En: *Plant Foods and Human Nutrition*. 2002. N° 57. Páginas 319 al 341.
41. EVRANUZ, E. O. "The effect of temperature and moisture content on lipid peroxidation during storage of unblanched salted roasted peanuts: shelf-life studies for unblanched salted roasted peanuts". En: *International Journal of Food Science and Technology*. 1993. N° 28. Páginas 193 al 199.
42. FARKAS, B. E. y Otros. "Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model Development". En: *Journal of Food Engineering*. 1996. N° 29. Páginas 211 al 226.
43. FENNEMA, O. *Química de los alimentos*. Zaragoza. Acribia. 2000.
44. FRANKEL, E. N. "Oxidación Lipídica". En: *The Oily Press*. Dundee, Scotland. 1998. Vol. 10.

45. FRANKEL, E.N. y Otros. "Evaluation of antioxidant activity of rosemary extracts and carnosic acid in bulk vegetable oils and fish oil and their emulsions". En: *J. Sci. Food Agric.* 1996. N° 72. Páginas 201 al 208.
46. FUJIOKA, K. y T. SHIBAMOTO. "Formation of genotoxic dicarbonyl compounds in dietary oils upon oxidation". En: *Lipids.* 2004. N° 39. Páginas 481al 486.
47. GAMBLE, M. H. y Otros. "Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers". En: *International Journal of Food Science and Technology.* 1987. N° 22. Páginas 233 al 241.
48. GARCÍA, H. "Proyecto de transformación de la tecnología agropecuaria". En: *Resumen de investigaciones apoyadas por Fondeagro (1988-1992)*. TTA. Lima. 1992. Páginas 61 al 63. Tomo I.
49. GARDNER, H. W. Lípido hidroperóxido de reactividad con las proteínas y aminoácidos: una revisión. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 1979. N° 27. Páginas 220 al 229.
50. GENOT, C. y Otros. "Alteraciones de las proteínas debido a la oxidacion de lipidos en sistemás multifasicos". En: *Lipid oxidation pathways*, Kamal-Eldin A. (Ed.), Champaign: AOACS Press. 2003. Páginas 265 al 292.

51. GORRITI A. y Otros. "Toxicidad oral a 60 días del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y linaza (*Linum usitatissimum* L.) y determinación de la dosis letal 50 en roedores". En: *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2010. N° 27(3). Páginas 352 al 60.
52. GRANDGIRARD, A. y Otros. "Oxyphytosterols are present in plasma of healthy human subjects". En: *British Journal of Nutrition*. 2004. N° 91. Páginas 101 al 106.
53. GROSCH, W. y Otros. "Estabilidad en el almacenamiento de avellanas tostadas". En: *Review of chocolate confectionary & Bakery*. 1983. N° 8 (3). Páginas 21 al 23.
54. GUILLÉN M. y Otros. "Caracterización del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por FTIR espectroscopia y <sup>1</sup>H NMR. Comparación con el aceite de linaza". En: *JAOCS*. 2003. N° 80(8). Páginas 755 al 762.
55. HASHIM, L. y H. CHAVERON. "Use of methylpyrazine ratios to monitor the coffee roasting". En: *Food Research International*. 1996. N° 28. Páginas 619 al 623.
56. HAZEN, D. y Y. STOWESAND. "Composición de las semillas de sachá inchi" En: *Reporte de la Estación Experimental Agraria "El*

*Porvenir*". Subdirección De Recursos Genéticos y Biotecnología, Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Tarapoto. 1980. Página 8.

57. HODGE, J. E. "Chemistry of browning reactions in model systems". En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1953. N° 1. Páginas 928 al 943

58. IHARA-WATANABE M. y Otros. "Efectos de la abundancia dietética del ácido graso alfa o gamma linolénico en los niveles y las composiciones de ácidos grasos de los lípidos en el suero y en el hígado, y la actividad y el ARNm de 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA reductasa en ratas". En: *Comp Biochem Physiol A Mol Integr. Physiol*. 1999. N° 122 (2). Páginas 213 al 220.

59. INEI. *Perú: compendio estadístico 2012*. Tomo 2.

60. JANEIRO D. R. "Malondialdehído y ácido tiobarbitúrico reactividad como índices de diagnóstico de la peroxidación lipídica y la lesión tisular peroxidativa". En: *Free Radical Biology and Medicine*. 1990. N°9. Páginas 515 al 540.

61. JIALAL, I. y S. DEVARAJ. "Low-density lipoprotein oxidation, antioxidants and atherosclerosis: a clinical biochemistry perspective". En: *Clin. Chem.* 1996. N°42. Páginas 498 al 506.
62. KANAZAWA, A. y Otros. "Formación de sitios inhabilitados en el ADN por los radicales t-butylperoxyl: implicación de genotoxicidad potente de radicales peroxilo lipídicos". En: *Cancer Letters*. 2000. N° 156. Páginas 51 al 55.
63. KANAZAWA, K. y Otros. "Uptake of secondary autoxydation products of linoleic acid by the rat". EN: *Lipids*. 1985. N° 20. Página 412.
64. KEME, T. y Otros. "The storage of hazelnuts at room temperature under nitrogen (II)". En: *Review of chocolate confectionary & Bakery*. 1983. N°8 (2). Páginas 15 al 20.
65. KHALIL, J. K. y M. I. D. CHUGHAI. "Chemical composition and nutritional quality of five peanut cultivars grown in Pakistan". En: *Plant Foods for Human Nutrition*. 1983. N° 33 (1). Páginas 63 al 70.
66. KORNSTEINER, M. y Otros. "Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types". En: *Food Chemistry*. 2006. N° 98. Páginas 381 al 387.

67. KROKIDA, M. K. y Otros. "Water loss and oil uptake as a function of frying time". En: *Journal of Food Engineering*. 2000. N° 44. Páginas 39 al 46.
68. KUMAZAWA, S. y Otros. "Isolation of sesaminols as antioxidative components from roasted sesame seed oil". En: *Journal of Oleo Science*. 2003. N° 52. Páginas 303 al 307.
69. KUBOW, S. "Routes of formation and toxic consequences of lipid oxidation products in foods". En: *Free Radical Biology and Medicine*. 1992. N° 12. Páginas 63 al 81.
70. LADIKOS, D. y V. LOUGOVOIS. "Lipid oxidation in muscle foods: a review". En: *Food Chemistry*. 1990. N° 35. Páginas 295 al 314.
71. LAWSON, H. *Aceites y grasas alimentarios*. Zaragoza. Acribia. 1999.
72. LECERF, J.-M. y I. CHRISTIANI. "Acides gras trans et cancer". En : *Cahier de Nutrition et de Diététique*. 2004. N° 39. Páginas 41 al 47.
73. LEDL F. y E. SCHLEIDER. "New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body". En: *Angewandte Chemie*. 1990. N° 29. Páginas 565 al 594.
74. LEGER, C. L. "Vitamine E, tocophérols et composés apparentés: Propriétés antioxygène et rôle biologique - source alimentaires". En :

CNERNA-CNRS Commission "Nutrition - Membranes". Paris: Polytechnica. 1992. Página 157.

75. LÓPEZ, A. y Otros. "Influencia de secado condiciones relativas a la calidad de la avellana. III. Oxidación de lípidos". En: *Drying Technology*. 1997. N° 15 (3,4). Páginas 965 al 977.
76. LOU, H. y Otros. "Polyphenols from peanut skins and their free radical-scavenging effects". En: *Phytochemistry*. 2004. N° 65. Páginas 2391 al 2399.
77. LUH, B. S. y Otros. "Effect of processing on some chemical constituents of pistachio nuts". En: *Journal of Food Quality*. 1982. N° 5 (1). Páginas 33 al 41.
78. MACHIELS D. y L. ISTASSE. "La réaction de Maillard : importance et applications en chimie des aliments". En: *Annales de Médecine Vétérinaire*. 2002. N° 146. Páginas 347 al 352.
79. MANCO E. "Cultivo de sacha inchi". En: *Informe INIEA – SUDIRGEB*. 2006.
80. MASON, M. E. y Otros. "Flavor components of roasted peanuts. Some low molecular weight pyrazines and a pyrrole". En: *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1966. N° 14. Páginas 454 al 460.

81. MATE, J. I. y Otros. "Rancidez de maní y nueces: efecto de la concentración de oxígeno y la humedad relativa". En: *Journal Food Science*. 1996. N° 61 (2). Páginas 465 al 472.
82. MATISSEK, R. y Otros. *Análisis de los Alimentos*. Zaragoza. Acribia. 1998. Páginas 47 al 59.
83. MAYER, K. P. "Infrared roasting of nuts, particularly hazelnuts". En: *Confectionary production*. 1985. N° 51. Páginas 313 al 314.
84. MEYER, W. y Otros. "On the cytotoxicity of oxidized phytosterols isolated from photoautotrophic cell cultures of chenopodium rubrum tested on mealworms tenebrio molitor". En: *Phytochemistry*. 1998. N° 47 (5). Páginas 789 al 797.
85. MILBURY, P. E. y Otros. "Determination of flavonoides and phenolics and their distribution in almonds". En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. N° 54. Páginas 5027 al 5033.
86. MOREIRA, R. G. "Deep-Fat Frying of Foods". En: *J. Irudayaraj, Food Processing Operations Modeling*. New York: Marcel Dekker, Inc. 2001. Páginas 115 al 146.
87. MOREIRA, R. G. y Otros. "Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach". En: *Food Technology*. Abril 1995. Páginas 146 al 150.

88. NAWAR, W. W. "Lipids". En: *Food Chemistry*. 1996. Páginas 255 al 264.
89. O'KEEFE, S. F. y Otros. "Comparación de la estabilidad oxidativa de los aceites de maní normal y de alto oleico". En: *Journal of American oil Chemist Society*. 1993. N° 70. Páginas 489 al 492.
90. ÖNAL Y ERGIN. "Efecto antioxidante del alfa-tocoferol y el palmitato ascorbilo sobre la oxidación térmica del aceite de canola". En: *Book 10. Scientific Institut for Intelligent Nutrition S.I.I.N.* 2002.
91. ORY, R. L. y Otros. "Oxidación inducida por los cambios en los alimentos en los cambios químicos durante el procesamiento". En: *Ed. by Institute of Food Technologists*. 221 N. Lasalle St. Chicago, Illinois. 1985. Páginas 205 al 210.
92. PAZ-ANTOLÍN, I. y M. MOLERO-MENESES. "Aplicación de la espectrofotometría UV-visible al estudio de la estabilidad térmica de aceites vegetales comestibles". En: *Grasas y Aceites*. 2000. N° 51 (6). Páginas 424 al 428.
93. PERREN, R. y F. ESCHER. "Nut roasting - technology and product quality". En: *Manufacturing Confectionary*. 2007. N° 87 (6). Páginas 65 al 75.

94. PERREN, R. y Otros. "Roasting technology of hazelnuts. II. Change in microstructure of hazelnuts during roasting". En: *Zucker- und Süßwaren-Wirtschaft*. 1996. N° 49 (2). Páginas 68 al 71.
95. PLAT, J. y Otros. "Oxidized plant sterols in human serum and lipid infusions as measured by combined gas-liquid chromatography-mass spectrometry". En: *Journal of Lipid Research*. 2001. N° 42. Páginas 2030 al 2038.
96. POKORNY, I. y Otros. "Oxidación lipídica. Parte I. Efecto del grupo carbonilo en la descomposición del hidroperóxido lipídico". En: *Nahrung*. 1976. N° 20. Páginas 1 al14.
97. POKORNY, J. "Las interacciones de los lípidos oxidados con proteínas". En: *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*. 1977. N° IV. Páginas 389 al 393.
98. PRYOR, W. A. y Otros. "Autooxidación de ácidos grasos poliinsaturados: II. Un mecanismo propuesto para la formación de sustancias reactivas al TBA de prostaglandina-endoperóxido". En: *Lipids*. 1976. N° 11 (5). Páginas 370 al 379.
99. PROMPEXPERU. *Diagnóstico del Programa Regional de Biocomercio en la Amazonía*. Lima. Junio 2005.

100. PUHL, H. y Otros. "Methods to determine oxidation of low-density lipoproteins". En: *Methods Enzymol.* 1994. N° 233. Páginas 425 al 441.
101. RIEDL, O. y E. MOHR. "Evaluación de la calidad de las avellanas sin cáscara". En: *Review of chocolate confectionary & Bakery.* 1979. N° 4. Páginas 29 al 30.
102. RODRÍGUEZ, Á. "Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats) de especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie". En: *Rev. Perú. biol. de la Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM.* 2010. N° 17 (3). Páginas 325 al 330.
103. RYAN, E. y Otros. "Qualitative and quantitative comparison of the cytotoxic and apoptotic potential of phytostérols oxidation products with their corresponding cholesterol oxidation products". En: *British Journal of Nutrition.* 2005. N° 94. Páginas 443 al 451.
104. SAKLAR, S. y Otros. "Microstructural changes in hazelnuts during roasting". En: *Food Research International.* 2003. N° 36 (1). Páginas 19 al 23.
105. SAKLAR, S. "Optimization of hazelnut roasting process by using response surface methodology". En: *Metu, Ankara.* 1999. Página 213.

106. SALMERON, J. y Otros. "Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women". En: *American Journal of Clinical Nutrition*. 2001. N° 73. Páginas 1019 al 1026.
107. SÁNCHEZ, V. "*Influencia de la temperatura y empaque, en la calidad del aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en cápsulas y semillas, ecotipo apangura de la Provincia de Lamas, durante almacenamiento*". Tesis (Titulación). Universidad Nacional de San Martín.
108. SEERAM, N. P. y Otros. "Pistachio skin phenolics are destroyed by bleaching resulting in reduced antioxidative capacities". En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. N° 5. Páginas 7036 al 7040.
109. SHAHIDI, F. y Otros. "Effect of Processing on Flavor Precursor Amino Acids and Volatiles of Sesame Paste (Tehina)". En: *Journal of American Oil Chemists Society*. 1997. N° 74. Páginas 667 al 678.
110. SHAHIDI, F. y Otros. "Phenolic antioxidants". En: *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1992. N° 32 (1). Páginas 67 al 103.
111. SINGH, R. P. "Heat and Mass Transfer in Foods During Deep-Fat Frying". En: *Food Technology*. Abril 1995. Páginas 134 al 137.

112. STIER, R. F. "Frying as a science - An introduction". En: *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2004. N° 106. Páginas 715 al 721.
113. ST ANGELO, J. A. "Oxidación de lípidos en alimentos". En: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1996. N° 36 (3). Páginas 175 al 224.
114. ST ANGELO, J. A. y L. R. ORY. "Effect of minor constituents and additives upon peroxidation of oil peanut butter". En: *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1975. N° 52 (2). Páginas 38 al 40.
115. TOPALLAR, H. y Otros. "Estudio sobre la autooxidación de aceite de girasol". En: *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1997. N° 74 (10). Páginas 1323 al 1327.
116. TSCHEUSCHNER, Horts-Dieter. *Fundamentos de tecnología de los alimentos*. Zaragoza. Acribia. 1987.
117. VALLES. R. C. "Especie *Plukenetia volubilis L.*". En: *Entrevista a Investigador agrario, profesor asociado de la Facultad de Agrónoma de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto (UNSM) e investigador de IIAP*. 1995.

118. VAN DE BOVENKAMP, P. y Otros. "Quantification of oxysterols in Dutch foods: egg products and mixed diets". En: *Lipids*. 1988. N° 23. Páginas 1079 al 1085.
119. VELA, L. "*Ensayos para la extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.), en el departamento de San Martín*". Tesis (Titulación). Universidad Nacional de San Martín.
120. VITRAC, O. y Otros. "Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material". En: *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2000. N° 102. Páginas 529 al 538.
121. WEGGEMANS, R. M. y Otros. "Intake of ruminant versus industrial trans fatty acids and risk of coronary heart disease : what is the evidence?". En: *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2004. N° 106. Páginas 390 al 397.
122. WHITE, P.J. "Conjugated diene, anisidine value and carbonyl value analyses en *Methods to assess quality and stability of oils and fat-containing foods* (Warner, K., Eskin, N.A.M. Eds.)". En: *AOCS Press*. Champaign, IL. 1995.
123. WOLFF, R. L. y J.-L. SÉBÉDIO. "Geometrical isomers of linolenic acid in low-calories spreads marketed in France". En: *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1991. N° 68. Páginas 719 al 725.

124. WOLFF, R. L. "Ubiquité et caractéristiques des isomères trans de l'acide linoléique : une revue". En : *Oléagineux Corps gras Lipides*. 1995. N° 2. Páginas 391 al 400.
125. YAACOUB, R. "*Impact nutritionnel et sanitaire de la torréfaction des fruits et graines oléagineux*". Tesis (Doctorado). Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. Agro Paris Tech.
126. YAMSAENGSUNG, R. y R. G. MOREIRA. "Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part II. Model solution & validation". En: *Journal of Food Engineering*. 2002. N° 53. Páginas 11 al 25.

## **ANEXOS**

## **ANEXO N°01**

**Método oficial para la determinación del índice de la p-anisidina**


**AOCS Official Method Cd 18-90**

Reapproved 2009

# p-Anisidine Value

**DEFINITION**

The p-anisidine value is defined by convention as 100 times the optical density measured at 350 nm in a 1 cm cuvette of a solution containing 1.00 g of the oil in 100 mL of a mixture of solvent and reagent according to the method described.

**SCOPE**

This method determines the amount of aldehydes (principally 2-alkenals and 2,4-dienals) in animal and vegetable fats and oils, by reaction in an acetic acid solution of the aldehydic compounds in an oil and the p-anisidine (see Notes, 1), and then measuring the absorbance at 350 nm.

**APPARATUS**

1. Test tubes—10 mL min. with either ground-glass stoppers or Teflon™-lined screw caps.
2. Volumetric flasks—25 mL.
3. Automatic pipet or automatic burette.

*Note*—Any pipette and/or burette capable of delivering exactly 1 mL and 5 mL is satisfactory.

4. Spectrophotometer suitable for observation at 350 nm.
5. Glass cuvettes—1.00 ± 0.01 cm, the two cuvettes of each pair must be identical.

**REAGENTS**

1. Isooctane (2,2,4-trimethylpentane)—optically clear (see Notes, *Caution* and 2).
2. Glacial acetic acid—analytical reagent quality (see Notes, 3).
3. p-Anisidine—analytical reagent quality (see Notes, *Caution* and 4) 0.25 g/100 mL solution in glacial acetic acid (Reagents, 2) (see Notes, 5).

**PROCEDURE**

*Note*—The test sample should be perfectly clear and dry (see Notes, 3).

1. Weigh 0.5–4.0 ± 0.001 g of the test sample into a 25 mL volumetric flask. Dissolve and dilute to volume with isooctane.
2. Measure the absorbance (Ab) of the solution at 350 nm in a cuvette with the spectrophotometer, using the reference cuvette filled with solvent as a blank.
3. Pipet exactly 5 mL of the fat solution into one test tube (Apparatus, 1) and exactly 5 mL of the solvent into a second test tube. By means of an automatic pipet (Apparatus, 3) add exactly 1 mL of the p-anisidine reagent (Reagents, 3) to each tube, and shake (see Notes, 6).
4. After exactly 10 min measure the absorbance (As) of the solvent in the first test tube in a cuvette (Apparatus, 5) at 350 nm, using the solution from the second test tube as a blank in the reference cuvette.

**CALCULATIONS**

The p-anisidine value (p-A.V.) is given by the formula

$$p\text{-A.V.} = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{m}$$

Where—

A<sub>s</sub> = absorbance of the fat solution after reaction  
with the p-anisidine reagent (Reagents, 3)

A<sub>b</sub> = absorbance of the fat solution

m = mass of the test portion, g

**PRECISION (see References, 2)**

	Crude Rapeseed Oil		Refined Palm Oil	
	Test Sample 1	Test Sample 2	Test Sample 1	Test Sample 2
No. of labs	20	20	20	20
Mean value	2.0	2.0	2.3	2.3
Repeatability, CV, %	4.0	5.8	4.8	4.6
Reproducibility, CV, %	35	37	30	31

**NOTES***Caution*

Isooctane is flammable and a fire risk. Explosive limits in air are 1.1–6.0%. It is toxic by ingestion and inhalation. A properly operating fume hood should be used when working with this solvent.

Acetic acid in the pure state is moderately toxic by ingestion and inhalation. It is a strong irritant to skin and tissue. The TLV in air is 10 ppm.

p-Anisidine is an irritant and should be handled with care, preferably in a fume hood. p-Anisidine is an aromatic amine, a class of toxic and possibly carcinogenic chemicals. o-Anisidine is a carcinogen in rats and mice, causing urinary carcinomas or papillomas. [Fourth Annual Report on Carcinogens, NTP 85-002, 1985, p. 2; *Chem. Res. Toxicol.* 4:474 (1991)]. The TLV is 0.1 ppm.

**NUMBERED NOTES**

1. In the presence of acetic acid, p-anisidine reacts with aldehydic compounds in oils or fats. The intensity of color of the yellowish reaction products formed depends not only on the amount of aldehydic compounds present but also on their structure. It has been found that a double bond in the carbon chain conjugated with the carbonyl double bond increases the molar absorbance four to five times. This means that 2-alkenals and dienals, especially, will contribute substantially to the value found.
2. In most cases n-hexane can be substituted for isooctane as a solvent. However, oils containing high amounts of oxidized fatty acids will not dissolve completely in n-hexane. For such oils isooctane should be used as the solvent. The absorbance of the solvent used (isooctane or n-hexane), measured in a 1.00 cm cuvette between 300 and 380 nm, must be nil or nearly nil. The commercial product can be freed from absorptive material by percolating it through a glass column (3–5 cm i.d., and 100 cm long) filled with silica gel.
3. The reaction between p-anisidine and aldehydes involves the formation of water. Hence, the presence of moisture in any of the reagents or in the test sample leads to incomplete reaction and, consequently, low values. Since glacial acetic acid is highly hygroscopic, it is essential to check its moisture content by a Karl Fischer determination. If the content exceeds 0.1 percent, the acetic acid must be discarded.
4. In storage, p-anisidine tends to darken as a result of oxidation. The p-anisidine crystals, which should be cream colored, should be stored at 0–4°C in a dark bottle. The crystals should not be exposed to strong light and should be used before any color change is observed. A discolored reagent can be reduced and decolorized in the following way. Dissolve 4.0 g of p-anisidine in 100 mL of water at 75°C. Add 0.2 g of sodium sulphite and 2.0 g of active carbon and stir for 5 min. Then filter through a double filter paper. If carbon passes through, repeat filtration. Cool the filtered solution to about 0°C, allow to stand at this temperature for at least 4 hr, or, preferably, overnight. Filter off the crystallized p-anisidine and wash with a small amount of water at a temperature of about 0°C. After drying in a vacuum desiccator, transfer the crystals into a brown glass bottle. If stored in the dark and at low temperature, the crystals obtained should not darken appreciably for 1 yr.
5. Reagent solutions having an absorbance greater than 0.200 when measured in a 1.00 cm cuvette at 350 nm against isooctane or n-hexane as a blank should be discarded.
6. The mixture should be completely homogenized with minimum shaking and then allowed to react for 10 min before proceeding with the absorbance measurement (References, 4).

**REFERENCES**

1. IUPAC, *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives*, 7th ed., Method Number 2.504 Determination of the p-anisidine value (p-A.V.), Blackwell Scientific Publications, Boston, MA and Oxford, UK (1987).
2. FOSFA International Collaborative Study #P15, May 1986, Document No. 384, ISO/TC 34/SC 11, February 12, 1987.
3. *JAOCS* 51:17 (1974).
4. Hamilton, R.J., and S. Hamilton, *Lipid Analysis*, Oxford University Press, New York, 1992, pp. 45–47.

## **ANEXO N°02**

**Método oficial para la determinación de la absorbancia al UV (por  
espectrofotometría a 232 y 270nm)**



## AOCS Official Method Ch 5-91

Reapproved 2009

# Determination of Specific Extinction of Oils and Fats, Ultraviolet Absorption

## DEFINITION

This method describes the procedure for performing a spectrophotometric examination of olive oil and other oils and fats in the ultraviolet. The oil or fat in question is dissolved in the required solvent and the extinction of the solution is then determined at the specified wavelengths with reference to pure solvent. These absorptions are expressed as specific extinctions  $E^{1\text{cm}}$  (the extinction of 1% solution of the oil in the specified solvent, in a thickness of 1 cm), conventionally indicated by K.

## SCOPE

Spectrophotometric examination in the ultraviolet can provide information on the quality of an oil, its state of preservation and changes brought about in it by processing. It is not specifically a measurement of refining. The degree of oxidation of olive oil is related to its absorption at 232 and approximately 268 nm. In some particular cases, abnormally altered virgin olive oils can show spectral characteristics close to those of refined oils. The absorption at the wavelengths specified in the method is due to the presence of conjugated and triene systems. Virgin olive oil of good quality and with proper storage contains few products of oxidation which absorb at a maximum of approximately 270 nm.

## APPARATUS

1. Spectrophotometer—for measuring extinction in the ultraviolet between 220 and 360 nm, with the possibility of reading individual nanometric units. (See Notes, 1).
2. Rectangular quartz cuvettes—with covers, having an optical light path of 1 cm. When filled with water or other suitable solvent, the cuvettes should not show a difference between them of more than 0.01 extinction units.
3. Graduated flasks—25 mL.
4. Chromatographic column—450 mm length and approximately 10 mm i.d.

## REAGENTS

1. One of the following solvents (see Notes, *Caution* and Reagents, 3)
  - (a) Spectrophotometrically pure isooctane (2,2,4-trimethylpentane)—With reference to distilled water this should have a transmittance of not less than 60% at 220 nm and not less than 95% at 250 nm.
  - (b) Spectrophotometrically pure cyclohexane—With reference to distilled water this should have a transmittance of not less than 40% at 220 nm and not less than 95% at 250 nm, or:
  - (c) Any other suitable solvent—capable of completely dissolving the oil (e.g., ethyl alcohol for castor oil).
2. Basic alumina—for column chromatography prepared and checked as described in Notes, 2.
3. *n*-Hexane—for chromatography, analytical reagent grade.

## PROCEDURE

1. The test sample must be perfectly homogeneous and without suspected impurities. Oils which are liquid at ambient temperature are to be filtered through paper at a temperature of approximately 30°C; hard fats are to be homogenized and filtered at a temperature of not more than 10°C above the melting point.
2. Weigh accurately approximately 0.25 g of the test sample into a 25 mL graduated flask, make up to the mark with the specified solvent, and homogenize. The resulting solution must be perfectly clear. If opalescence or turbidity is present, filter quickly through paper.
3. Fill a cuvette with the solution obtained and measure the extinctions at 232 and 268–270 nm (wavelengths of maximum absorption), using the same solvent as a reference.
4. The extinction values recorded must lie within the range 0.1–0.8. If not, the measurements must be repeated using more concentrated or more diluted solutions as appropriate.
5. When a determination of specific extinction is required after passage over alumina, proceed as follows:
  - (a) Place 30 g of basic alumina in suspension in hexane in the chromatography column.
  - (b) After the adsorbent has settled, remove the excess hexane down to approximately 1 cm above the top of the alumina.
  - (c) Dissolve 10 g of the fat, homogenized and filtered as described in Procedure, 1, in 100 mL of hexane and pour the solution into the column.
  - (d) Collect the eluate and evaporate off all the solvent under vacuum at a temperature below 25°C.
  - (e) Proceed immediately as specified in Procedure, 2, using the fat so obtained.

6. The maximum wave length of 268 nm or 270 nm shall be selected depending on whether the solvent used is isooctane or cyclohexane, respectively.

### CALCULATION

Record the specific extinctions as the various wavelengths calculated as follows:

$$K_{\lambda} = \frac{E_{\lambda}}{C \times S}$$

Where—

$K_{\lambda}$  = specific extinction at wavelength  $\lambda$

$E_{\lambda}$  = extinction measured at wavelength  $\lambda$

$C$  = concentration of the solution, g/100 mL

$S$  = thickness of the cuvette, cm

The results are to be expressed to three decimal figures.

### DETERMINATION OF $\Delta K$

Ultraviolet absorption characteristics require the determination of the specific extinction in isooctane solution at wavelengths of 232 and 270 nm and determination of the variation of the specific extinction ( $\Delta K$ ), which is given by:

$$\Delta K = K_m - (K_{m-4} + K_{m+4})/2$$

where—

$K_m$  = the specific extinction at wavelength  $m$ , the wavelength for maximum absorption around 270 nm

### PRECISION

Repeatability and reproducibility values from an international collaborative study are given in Tables 1–3.

### NOTES

#### Caution

Isooctane is flammable and a dangerous fire risk. It is toxic by ingestion and inhalation. The explosive limits in air are 1.1–6%.

Cyclohexane is flammable and a dangerous fire risk. It is moderately toxic by inhalation and skin contact. The TLV in air is 300 ppm.

### NUMBERED NOTES

- Calibration of the spectrophotometer
  - The equipment must be checked at intervals (at least every 6 mo) for both wavelength response and the accuracy of the response.
  - The wavelength may be checked using a mercury vapor lamp or by means of suitable filters.
  - To check the response of the photocell and the photomultiplier proceed as follows: Weigh 0.2000 g of pure potassium chromate for spectrophotometry and dissolve in 1 m potassium hydroxide solution in a 1000 mL graduated flask and dilute to the mark. Take precisely 25 mL of the solution obtained, transfer to a 500 mL graduated flask and dilute to the mark, using the same potassium hydroxide solution.
  - Measure the extinction of the solution so obtained at 275 nm, using the potassium hydroxide solution as a reference. The extinction measured using a 1 cm cuvette should be  $0.200 \pm 0.005$ .
- Preparation of the alumina and testing its activity
  - Preparation of the alumina—Place alumina which has been previously desiccated in a furnace at 380–400°C for 3 hr into a hermetically sealed container, add distilled water in the ratio of 5 mL per 100 g of alumina, immediately close the container, shake repeatedly, and then allow to rest for at least 12 hr before use.
  - Checking the activity of the alumina—Prepare a chromatographic column with 30 g of alumina. Working as described in Procedure, 5, pass a mixture consisting of 95% virgin olive oil having a specific extinction of less than 0.18 at 268 nm and 5% peanut (groundnut) oil treated with bleaching earth in the refining process, having a specific extinction of not less than 4 at 268 nm through the column. If after passage through the column the mixture has a specific extinction of more than 0.11 at 268 nm the alumina is acceptable; if not, the level of dehydration must be increased.
- Grades of olive oil are defined by ultraviolet absorbance (Table 4).

### REFERENCES

- This method is based on CAC/RS 33-1970 FAO/WHO, Rome, Italy, Italian Method NGD-C 40-1976, ISO 3656, and COI/T20/Doc. no. 19/Rev 2.

**Table 1**  
**Results of a 2000 collaborative study on the determination of ultraviolet absorbance at 232 nm.**

Sample	Sunflower seed oil	Olive oil	Rapeseed oil	Palm kernel oil	Soybean oil
Number of laboratories accepted	13	14	13	13	14
Mean of the laboratory values	2.515	2.220	3.459	2.221	3.665
Repeatability					
Standard deviation, $s_r$	0.1199	0.0639	0.0582	0.0374	0.1093
Relative standard deviation, $RSD_r\%$	4.8	2.9	1.7	1.7	3.0
Repeatability value, $2.8 \times s_r$	0.3389	0.1808	0.1646	0.1058	0.3091
Reproducibility					
Standard deviation, $s_R$	0.1866	0.0839	0.1405	0.0983	0.1808
Relative standard deviation, $RSD_R\%$	7.4	3.8	4.1	4.4	4.9
Reproducibility value, $2.8 \times s_R$	0.5277	0.2371	0.3973	0.2780	0.5114

**Table 2**  
**Results of a 2000 collaborative study on the determination of ultraviolet absorbance at 268 nm.**

Sample	Sunflower seed oil	Olive oil	Rapeseed oil	Palm kernel oil	Soybean oil
Number of laboratories accepted	13	12	11	12	13
Mean of the laboratory values	1.872	0.157	0.627	0.675	1.437
Repeatability					
Standard deviation, $s_r$	0.0470	0.0215	0.0221	0.0211	0.0329
Relative standard deviation, $RSD_r\%$	2.5	13.7	3.5	3.1	2.3
Repeatability value, $2.8 \times s_r$	0.1329	0.0608	0.0624	0.0597	0.0931
Reproducibility					
Standard deviation, $s_R$	0.0626	0.0202	0.0379	0.0293	0.0517
Relative standard deviation, $RSD_R\%$	3.3	12.9	6.0	4.3	3.6
Reproducibility value, $2.8 \times s_R$	0.1771	0.0572	0.1072	0.0828	0.1461

**Table 3**  
**Results of a collaborative study conducted in 2001 by the International Olive Council involving 19 laboratories holding IOC recognition. The laboratories were from eight countries.**

Absorbency in the Ultraviolet (K)—at 270 nm					
	A	B	C	D	E
n	17	18	18	18	18
outliers	3	0	1	0	5
mean	0.110	0.253	0.202	0.212	0.561
r	0.006	0.009	0.012	0.015	0.018
$S_r$	0.002	0.004	0.004	0.006	0.007
RSD <sub>r</sub> (%)	1.961	1.431	2.283	2.691	1.191
R	0.016	0.026	0.021	0.031	0.020
$S_R$	0.006	0.009	0.008	0.011	0.007
RSD <sub>R</sub> (%)	5.052	3.770	3.872	5.470	1.302

Delta K					
	A	B	C	D	E
n	17	18	18	18	18
outliers	1	2	0	1	1
mean	0.000	0.020	0.010	0.003	0.040
r	—	0.000	0.003	0.002	0.007
$S_r$	—	0.001	0.001	0.001	0.003
RSD <sub>r</sub> (%)	—	7.720	17.920	25.660	6.421
R	—	0.004	0.006	0.004	0.017
$S_R$	—	0.002	0.002	0.002	0.006
RSD <sub>R</sub> (%)	—	8.271	37.021	50.201	14.210

A. extra virgin olive oil, B. virgin olive oil + refined sunflower oil, C. virgin olive oil + refined olive-pomace oil, D. virgin olive oil + refined soybean oil + refined sunflower oil, E. refined olive oil + refined olive-pomace oil + refined soybean oil + lampante virgin olive oil.



**Table 4**  
**The Codex Alimentarius Commission Recommended International Standard for Olive Oil, Virgin and Refined, and for Refined Olive-Pomace Oil (CAC/RS 33-1970) specifies the following ultraviolet absorption quality characteristics for olive oils (see also codex T20/Doc. 28-2 Annex 3, LL 1993/15-FO, May 1993 and the International Olive Council trade standard for olive oils (COI/T15/NC no. 2/Rev. 6, June 5, 1997).**

	E <sup>1%</sup> cm Absorbency in ultraviolet at 270 nm	ΔE <sup>1%</sup> cm Delta K at or near 270 nm
Extra virgin olive oil	≤0.25	≤0.01
Fine virgin olive oil	≤0.25	≤0.01
Ordinary virgin olive oil	≤0.30 <sup>a</sup>	≤0.01
Lampante virgin olive oil	No limit <sup>a</sup>	
Refined olive oil	≤1.10	≤0.16
Olive oil	≤0.90	≤0.15
Crude olive-residue oil	Not specified	Not specified
Refined olive-residue oil	≤2.00	≤0.20
Olive-residue oil	≤1.70	≤0.18

<sup>a</sup> After passage of the sample through activated alumina, absorbency at 270 nm shall be equal to or less than 0.11.

## **ANEXO N°03**

**Análisis de peróxidos realizado por el laboratorio CITE Agroindustrial**

 MODULO DE SERVICIOS TACNA CITE agrindustria	CLAB.FM01.PT.IEN.08-1	 CITELAB
<b>INFORME DE ENSAYO N° 040-12</b>		
Fecha de aprobación: 30/08/08	Edición: 01	Versión: 01
		Páginas: 1 de 1

Empresa o Institución: Sara Sanchez Maxi.  
Solicitado por: Sara Sanchez Maxi.  
Dirección del cliente: Av. Prolongación del Ejercito Mz.H Lote 2

Producto descrito como: Almendras de Sacha Inchi	Cantidad de muestra: 01
Procedencia: Tarapoto - Perú	Código de la muestra: CLAB.M.35
Observaciones Recep: En bolsa de plástico	Fecha de Recepción: 11/06/2012
	Fecha de Ensayo: 13-14/06/2012
	Fecha de Emisión: 15/06/2012

**Resultados de los Análisis: M1**

Ensayo	Resultado	Método	Referencia
Determinación de Índice de Peroxidos	No determinado	Volumétrico	Reglamento (CE) nº 2568/91 Anexo III

Observaciones:

- EL LABORATORIO NO REALIZÓ EL MUESTREO DEL PRODUCTO, LA MUESTRA FUE ENTREGADA POR LA EMPRESA O INSTITUCIÓN SOLICITANTE.
- Las muestras no sujetas a dirimencias por ser muestras únicas (Se puede obviar).
- Los resultados se relacionan únicamente a los objetos ensayados.
- El nombre del producto es declarado por el solicitante.


  
  
**Ing. Leslie Garcés Gutiérrez**  
 Responsable del CITELAB

## **ANEXO N°04**

**Análisis de varianza de los resultados de las evaluaciones  
fisicoquímicas**

**CUADRO N° 17: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ EN EL DÍA 16**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,0380	2,0000	0,0190	4,2000	0,0318	3,5546
Temperatura (°C)	0,0095	2,0000	0,0048	1,0500	0,3704	3,5546
Interacción T min/T °C	0,1859	4,0000	0,0465	10,2750	0,0002	2,9277
Dentro del grupo	0,0814	18,0000	0,0045			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ EN EL DÍA 32**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,0006	2,0000	0,0003	0,0632	0,9390	3,5546
Temperatura (°C)	0,1067	2,0000	0,0533	11,2013	0,0007	3,5546
Interacción T min/T °C	0,0073	4,0000	0,0018	0,3813	0,8191	2,9277
Dentro del grupo	0,0857	18,0000	0,0048			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 19: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ EN EL DÍA 48**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,0002	2,0000	0,0001	0,0354	0,9652	3,5546
Temperatura (°C)	0,0297	2,0000	0,0149	6,5110	0,0075	3,5546
Interacción T min/T °C	0,0161	4,0000	0,0040	1,7569	0,1816	2,9277
Dentro del grupo	0,0411	18,0000	0,0023			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 20: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ EN EL DÍA 64**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,1652	2,0000	0,0826	15,2950	0,0001	3,5546
Temperatura (°C)	0,0938	2,0000	0,0469	8,6825	0,0023	3,5546
Interacción T min/T °C	0,0771	4,0000	0,0193	3,5673	0,0260	2,9277
Dentro del grupo	0,0972	18,0000	0,0054			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 21: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{232}$  EN EL DÍA 48**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,2077	2,0000	0,1039	5,6442	0,0125	3,5546
Temperatura (°C)	0,0209	2,0000	0,0104	0,5667	0,5772	3,5546
Interacción T min/T °C	0,5531	4,0000	0,1383	7,5144	0,0010	2,9277
Dentro del grupo	0,3312	18,0000	0,0184			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 22: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{270}$  EN EL DÍA 48**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,0306	2,0000	0,0153	11,6399	0,0006	3,5546
Temperatura (°C)	0,0388	2,0000	0,0194	14,7228	0,0002	3,5546
Interacción T min/T °C	0,2336	4,0000	0,0584	44,3544	0,0000	2,9277
Dentro del grupo	0,0237	18,0000	0,0013			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 23: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{232}$  EN EL DÍA 64**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	2,3603	2,0000	1,1801	87,0360	0,0000	3,5546
Temperatura (°C)	5,5520	2,0000	2,7760	204,7345	0,0000	3,5546
Interacción T min/T °C	1,4337	4,0000	0,3584	26,4341	0,0000	2,9277
Dentro del grupo	0,2441	18,0000	0,0136			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 24: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE ABSORBANCIA  $K_{270}$  EN EL DÍA 64**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	0,2870	2,0000	0,1435	177,6247	0,0000	3,5546
Temperatura (°C)	1,0693	2,0000	0,5346	661,7682	0,0000	3,5546
Interacción T min/T °C	0,1186	4,0000	0,0296	36,6943	0,0000	2,9277
Dentro del grupo	0,0145	18,0000	0,0008			

Fuente: Elaboración propia (2012)

## **ANEXO N°05**

**Análisis de varianza de los resultados de la evaluación de los  
atributos sensoriales**

**CUADRO N° 25: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL SABOR DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI**

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	1,7333	2,0000	0,8667	1,3448	0,2734	3,2594
Temperatura (°C)	3,6000	2,0000	1,8000	2,7931	0,0745	3,2594
Interacción T min/T °C	2,2667	4,0000	0,5667	0,8793	0,4860	2,6335
Dentro del grupo	23,2000	36,0000	0,6444			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 26: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA CROCANTEZ DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI**

<b>Orígen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	2,3111	2,0000	1,1556	1,2381	0,3020	3,2594
Temperatura (°C)	2,3111	2,0000	1,1556	1,2381	0,3020	3,2594
Interacción T min/T °C	4,7556	4,0000	1,1889	1,2738	0,2983	2,6335
Dentro del grupo		36,0000	0,9333			

Fuente: Elaboración propia (2012)

**CUADRO N° 27: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA APARIENCIA DE LAS SEMILLAS DE SACHA INCHI**

<b>Orígen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tiempo (min)	1,3778	2,0000	0,6889	0,5849	0,5624	3,2594
Temperatura (°C)	10,7111	2,0000	5,3556	4,5472	0,0173	3,2594
Interacción T min/T °C	0,6222	4,0000	0,1556	0,1321	0,9696	2,6335
Dentro del grupo	42,4000	36,0000	1,1778			

Fuente: Elaboración propia (2012)