



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**Determinación de ácidos grasos trans en papas fritas  
industriales y de expendio ambulatorio mediante  
espectrometría infrarroja FTIR**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**Autora:**

**MARÍA INÉS VALDEZ NARVÁEZ**

**Director:**

**PIERCOSIMO TRIPALDI CAPPELLETTI**

**CUENCA – ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Gerardo y Adriana que han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida, guiándome siempre por el camino del bien y apoyándome en todos mis sueños; a mis hermanos Mario y Adrianita que con sus consejos y alegrías me dieron ánimos para jamás rendirme; a mis tíos Miguel y Patricia que han sido parte de mi formación brindándome su ayuda y apoyo desinteresado y mi abuelita Inés que siempre estuvo con sus palabras tan savias en el momento preciso.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento va primeramente a Dios, que con su infinita bondad y muchas bendiciones recibidas a lo largo de mi vida he podido ir cumpliendo cada una de mis metas y sueños, por brindarme la posibilidad de cumplir un sueño más en mi vida, gracias.

A mis padres, mi más grande ejemplo a seguir, gracias por su apoyo y amor incondicional en cada etapa de mi vida, gracias por enseñarme a ser valiente y nunca desfallecer ante ningún obstáculo, por inculcarme tantos valores y saber que en la vida nada es fácil, pero con perseverancia y responsabilidad todo lo puedo lograr.

A mis hermanos, gracias por su amor, paciencia, alegrías, consejos y admiración que me ha permitido ser tan feliz e impulsarme a ser mejor cada día.

A mis tíos Miguel y Patricia gracias por tanto apoyo a lo largo de mi vida, gracias por brindarme un amor de padres y por estar siempre en cada logro.

Al Dr. Piercosimo Tripaldi y al Ing. Andrés Pérez, por su confianza depositada en mí, brindándome su apoyo diario, tiempo y conocimientos para que yo pueda cumplir con esta meta.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
INDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I MARCO TEORICO.....</b>	<b>4</b>
Introducción.....	4
1.1.    Lípidos .....	4
1.1.1.    Funciones de los lípidos .....	4
1.1.2.    Clasificación de los lípidos .....	5
1.2.    Ácidos grasos (AG).....	8
1.2.1.    Ácidos grasos saturados .....	8
1.2.2.    Ácidos grasos insaturados.....	9
1.2.2.1.    Ácidos grasos trans .....	10
1.2.2.2.    Formación de los ácidos grasos trans.....	11
1.2.2.3.    Ácidos grasos trans presentes en alimentos .....	14
1.3.    Impacto de los AGT en la salud.....	14
1.3.1.    Enfermedades asociadas a los AGT.....	15
1.4.    Regulaciones para AGT .....	16
1.5.    Etiquetado para AGT en alimentos .....	18
1.5.1.    Nutrientes que deben declararse.....	18
1.6.    Papas fritas .....	20
1.6.1.    Papas tipo chips.....	20
1.6.2.    Papas fritas en bastones.....	21
1.7.    Espectroscopía .....	22
1.7.1.    Espectroscopía infrarroja .....	23

1.7.2.	Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).....	25
1.7.2.1.	Reflectancia total atenuada .....	26
1.7.3.	Espectroscopia en AGT .....	27
1.8.	Tratamiento Estadístico.....	28
1.8.1.	Métodos de regresión .....	28
1.8.2.	Análisis de Conglomerados .....	31
<b>CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>33</b>
	Introducción.....	33
2.1.	Materiales.....	33
2.1.1.	Muestras .....	33
2.1.2.	Reactivos.....	33
2.1.3.	Instrumental .....	33
2.1.4.	Equipos .....	33
2.2.	Metodología.....	34
2.2.1.	Toma de muestras .....	34
2.2.2.	Proceso de extracción de grasa .....	35
2.2.2.1.	Molido.....	35
2.2.2.2.	Extracción .....	35
2.2.3.	Medición de AGT por espectroscopia infrarroja FTIR.....	37
2.2.4.	Cálculos.....	37
2.2.5.	Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas .....	38
<b>CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>		<b>39</b>
	Introducción.....	39
2.3.	Extracción grasa.....	39
2.4.	Porcentaje de AGT presentes en las muestras.....	41
2.4.2.	Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas y eventuales grupos de grasas comestibles utilizados en el proceso de fritura. ....	44
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Extractor de grasa por solvente VELP SER 148.....	36
Figura 3-1 Dendograma .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:1 Ácidos grasos saturados más comunes en alimentos .....	9
Tabla 1:2. Ácidos grasos insaturados más comunes en alimentos.....	10
Tabla 1:3 Ácidos grasos trans en alimentos .....	14
Tabla 1:4. Nutrientes de declaración obligatoria y Valor Diario Recomendado (VDR) .....	18
Tabla 1:5. Contenido de grasa y ácidos grasos .....	19
Tabla 1:6. Reporte de los datos de cada nutriente.....	19
Tabla 2:1. Papas fritas de expendio en locales de comida rápida .....	34
Tabla 2:2. Marcas de papas fritas industriales .....	35
Tabla 3:1. Porcentaje de materia grasa en papas fritas expandidas en locales de comida rápida .....	39
Tabla 3:2. Porcentaje de materia grasa de papas fritas industriales.....	40
Tabla 3:3. Porcentaje de AGT en papas fritas de expendio en locales de comida rápida.....	42
Tabla 3:4. Porcentaje de AGT en papas fritas industriales .....	42
Tabla 3:5 Perfil de ácidos grasos presentes en papas fritas de expendio en locales de comida rápida .....	44
Tabla 3:6 Perfil de ácidos grasos presentes en papas fritas industriales .....	45
Tabla 3:7 Conglomerado grupo 1 .....	47
Tabla 3:8 Conglomerado grupo 2 .....	48
Tabla 3:9 Conglomerado grupo 3 .....	48
Tabla 3:10 Conglomerado grupo 4 y 5 .....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas.....	56
Anexo 2 Composición de ácidos grasos en algunos aceites y grasas .....	59

**DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS TRANS EN PAPAS FRITAS INDUSTRIALES Y DE EXPENDIO AMBULATORIO MEDIANTE ESPECTROMETRÍA INFRARROJA FTIR**

**RESUMEN**

Las grasas son macronutrientes esenciales para la alimentación al ser nuestra principal fuente de energía; sin embargo, debido a varios procesos tecnológicos a los que son sometidas, tienden a formar grasas trans, que desde el punto de vista nutricional son muy perjudiciales para la salud. Por esta razón, se determinó la cantidad de grasas trans presentes en 15 marcas de papas fritas industriales y en 8 locales de comida rápida de la ciudad de Cuenca mediante la aplicación de espectroscopía infrarroja FTIR, en lo cual se obtuvo que un 73% de las marcas de papas fritas industriales y un 50% de papas fritas expandidas en locales de comida rápida no cumplieron con el nuevo acuerdo ministerial No 4439.

**Palabras Clave:** Ácidos grasos trans, Espectroscopía infrarroja FTIR, papas fritas.



Dr. Piercósimo Tripaldi Cappelletti

**Director de Tesis**



Ing. Fausto Tobías Parra Parra

**Director de Escuela**



María Inés Valdez Narváez

**Autora**

**DETERMINATION OF TRANS FATTY ACIDS IN STREET VENDING AND INDUSTRIAL POTATO CHIPS THROUGH INFRARED SPECTROMETRY- FTIR**

**ABSTRACT**

Fats are macronutrients essential for nutrition as they are our main source of energy; however, due to the various technological processes they are subjected to, they tend to form Trans fats, which are very harmful to health from the nutritional point of view.

Therefore, the amount of trans fat present in 15 brands of industrial potato chips and in 8 fast-food restaurants in the city of Cuenca was determined by the application of FTIR Infrared Spectroscopy technique, which showed that 73% of industrial potato chips brands and 50% of potato chips sold at fast-food venues did not comply with the new ministerial agreement No 4439.

**Keywords:** Trans Fatty Acids, Infrared Spectroscopy FTIR, Potato Chips.



Dr. Piercósimo Tripaldi Cappelletti  
**Thesis Director**



Ing. Fausto Tobías Parra Parra  
**School Director**



María Inés Valdez Narváez  
**Autora**



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Valdez Narváez María Inés

Trabajo de Graduación

Dr. Piercosimo Tripaldi

Enero, 2017

**DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS TRANS EN PAPAS FRITAS  
INDUSTRIALES Y DE EXPENDIO AMBULATORIO MEDIANTE  
ESPECTROMETRÍA INFRARROJA FTIR**

**INTRODUCCIÓN**

Uno de los mayores problemas de salud en el mundo son los alarmantes índices de enfermedades cardio y cerebrovasculares que existen en la actualidad, pues según la OMS estas enfermedades causan alrededor de 17,5 millones de muertes en el mundo cada año, siendo un problema grave en países tanto desarrollados como países en vías de desarrollo (OMS, 2015). La OMS relaciona a este problema con el consumo elevado de productos ricos en grasas trans, las cuales ya no están asociadas únicamente con enfermedades cardio y cerebrovasculares, sino también a la diabetes de tipo II, siendo esto muy preocupante para las autoridades de la salud y para muchos productores de alimentos que se preocupan por la calidad y salud de sus consumidores.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) asegura que el aumento del 2 % de la energía diaria proveniente de ácidos grasos trans (AGT) se relaciona con un aumento del 23 % de riesgo cardiovascular; por ello, la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomiendan virtualmente eliminarlas o que su consumo sea tan bajo como sea posible, menos del 1 % (Ballesteros, Valenzuela, Artalejo, & Robles, 2012).

En el Ecuador, la diabetes, la hipertensión y las enfermedades cardio y cerebrovasculares están dentro de las diez principales causas de mortalidad, (MSP, 2011) por lo que se ha creado un nuevo acuerdo ministerial en el que se establece que el límite máximo permitido de grasas trans será 2 g por cada 100 g de materia grasa (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013); buscando de esta manera que los índices de enfermedades cardiovasculares disminuyan.

Según varios estudios, uno de los alimentos que contienen grasas trans son las papas fritas, las cuales, en la actualidad se han convertido en alimentos de consumo masivo en la población en general, pues al ser de bajo costo y muy apetecidos por todas las personas sin importar su edad, su consumo va siendo mayor, aumentando el riesgo de padecer las enfermedades antes mencionadas.

Sin embargo, a pesar del nuevo acuerdo ministerial, hay que tomar en cuenta que muchas industrias de alimentos en nuestro país no cumplen con estas normativas y peor aún los locales que expende comida rápida, siendo esto un problema más que afecta a la población en general, por lo que se requiere de estudios sobre el cumplimiento de estas normas para garantizar la calidad y seguridad alimentaria de los consumidores.

Por otra parte, debido a esta problemática también se han realizado varias investigaciones sobre un método apropiado que permita dosificar la cantidad de grasas trans presentes en los alimentos, se realizaron estudios en Pakistán, Perú, Estados Unidos, Ecuador, entre otros.

Por lo tanto, lo que busca el presente proyecto es determinar mediante espectroscopía infrarroja si los niveles de grasas trans en papas fritas industriales y de expendio en locales de comida rápida cumplen con la normativa establecida y cuál de estas tiene un mayor índice de grasas trans; de manera que, se pueda extender el espectro de investigación en este tema.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

- Cuantificar las grasas trans presentes en papas fritas industriales y de expendio en locales de comida rápida, mediante la aplicación de espectroscopía infrarroja.

### **Objetivos Específicos:**

- Cuantificar el contenido de grasa total de las muestras de papas fritas industriales y de expendio en locales de comida rápida mediante el método de Soxhlet
- Cuantificar el contenido de grasas trans en el porcentaje de grasa total de las muestras de papas fritas industriales y de expendio en locales de comida rápida aplicando espectroscopía infrarroja para comparar su cumplimiento con el nuevo reglamento del ministerio de salud
- Obtener el perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas industriales y de expendio en locales de comida rápida utilizando espectroscopía infrarroja
- Estudiar eventuales grupos de grasas comestibles utilizadas para la fritura mediante la aplicación de análisis multivariantes

## CAPITULO I

### MARCO TEORICO

#### **Introducción**

En el presente capítulo se abordará temas como la clasificación y características de los lípidos en general, como se forman los ácidos grasos trans, su efecto sobre la salud, regulaciones y normativas sobre su etiquetado en alimentos; además se citarán características generales de las papas fritas y la explicación sobre el fundamento y funcionamiento de la espectroscopía infrarroja.

#### **1.1. Lípidos**

Según Badui (2006) los lípidos son un grupo de compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno.

Los lípidos son sustancias biológicas que pueden ser solubles en solventes orgánicos como el cloroformo y metanol, siendo esto una ventaja para su fácil separación de otros materiales biológicos por una extracción en solventes orgánicos; sin embargo, tienen poca o nula solubilidad en agua. Las grasas, aceites, algunas vitaminas, hormonas y la mayoría de componentes no proteicos de las membranas son lípidos (Voet & Voet, 2006).

##### **1.1.1. Funciones de los lípidos**

###### **1.1.1.1. Funciones biológicas**

Desde el punto de vista biológico, los lípidos constituyen la fuente de energía más importante para el organismo, pues aportan 9kcal debido a que contienen mayor número de átomos de carbono en su cadena en comparación con las proteínas e incluso los carbohidratos. Los lípidos son la principal reserva energética en los

animales, son almacenados en el tejido adiposo y además son una reserva energética mucho mayor que el glucógeno (Guzmán, 2011).

Los lípidos, cumplen con funciones estructurales a nivel de las membranas celulares, recubren órganos como protectores y amortiguadores contra golpes, evita excesivas pérdidas o entradas de agua al cuerpo y sirven como aislantes térmicos que ayudan a mantener la temperatura corporal (Guzmán, 2011).

Otra función que cumplen es la de transporte de diversas sustancias en medios orgánicos, transporte de nutrimentos y otros ácidos grasos indispensables como vitaminas, hormonas y pigmentos, etc., permitiendo que se den reacciones químicas indispensables para el correcto metabolismo como la síntesis de miscelas y bilis (Badui, 2006).

#### **1.1.1.2. Funciones en los alimentos**

En los alimentos, los lípidos cumplen con funciones que determinan la calidad de los mismos; contribuyen a la textura, estructura y consistencia a los productos, permiten una correcta lubricación y provocan sensación de saciedad a los consumidores, aportan con colores vivos gracias a los carotenoides y la principal función de palatabilidad gracias a las cetonas, aldehídos y derivados carbonilos por los que están formados (Badui, 2006).

#### **1.1.2. Clasificación de los lípidos**

- a) Lípidos simples
  - Grasas y aceites
  - Ceras
- b) Lípidos complejos
  - Fosfoglicéridos
  - Glucolípidos

- lipoproteínas
- c) Lípidos asociados
  - Ácidos grasos
  - Pigmentos
  - Vitaminas liposolubles
  - Esteroles

### **1.1.2.1.Lípidos simples**

Los lípidos simples son ésteres de ácidos grasos y alcoholes, cuya composición química es carbono, hidrogeno y oxígeno. Los lípidos simples se subdividen en: acilglicéridos o grasas y céridos o ceras (Badui, 2006).

#### **1.1.2.1.1. Acilglicéridos (Grasas y aceites)**

Son ésteres de glicerol con ácidos monocarboxílicos y de acuerdo al número de ácidos grasos que lo forman pueden ser: monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos. Las grasas y aceites son los principales lípidos que se encuentra en los alimentos, no existe una distinción específica entre estos dos grupos, sin embargo, algunos consideran que las grasas son de origen animal y sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son de origen vegetal y líquidos a temperatura ambiente (Badui, 2006).

#### **1.1.2.1.2. Céridos o Ceras**

Son ésteres de alcoholes monohidroxilados y ácidos grasos (Badui, 2006), las ceras son sólidas a temperatura ambiente y tienen un punto de fusión muy alto, tienen una función protectora gracias a que no se hidrolizan con facilidad y carecen de valor alimenticio, estas funciones, están relacionadas con la impermeabilidad al agua y su firme consistencia (Guzmán, 2011).

### **1.1.2.2.Lípidos Complejos**

Los lípidos complejos no son más que los lípidos simples conjugados con otras moléculas no lipídicas como nitrógeno, fósforo, azufre o biomoléculas como los glúcidos (Badui, 2006).

#### **1.1.2.2.1. Fosfoglicéridos**

Los fosfoglicéridos son ésteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso, y están combinados con una base nitrogenada (Badui, 2006); son moléculas heteropolares, es decir, poseen una región hidrofóbica y otra polar. Su principal función en el organismo es estructural, ya que forma parte de las bicapas de las membranas celulares (Guzmán, 2011).

#### **1.1.2.2.2. Glucolípidos**

Los glucolípidos son compuestos formados por hidratos de carbono, ácidos grasos y esfingosinol, a los cuales también se los puede llamar cerebrósidos (Badui, 2006) debido a que forman parte de las membranas celulares de las neuronas. Se sitúan en la parte externa de la membrana celular para cumplir con la función receptora de moléculas externas que darán lugar a respuestas celulares (Guzmán, 2011).

#### **1.1.2.2.3. Lipoproteínas**

Las lipoproteínas están formadas por lípidos y proteínas, sus compuestos están enlazados hidrófoba y electrostáticamente, tienen una importancia biológica muy alta debido a que cumplen con funciones a nivel de la membrana celular y además forman parte de los compuestos que generan colesterol (Badui, 2006).

### **1.1.2.3.Lípidos asociados**

Una de las propiedades que caracteriza a los lípidos en general, es la de ser ésteres de los ácidos grasos, sin embargo, existen los lípidos asociados que pueden o no estar

esterificados y se los considera como parte de los lípidos gracias a su naturaleza no polar, lo cual, los hace solubles en solventes orgánicos y porque en un proceso de extracción de tejidos, salen conjuntamente con los lípidos. Entre estos se encuentran los pigmentos, vitaminas liposolubles y esteroides (Álvarez, y otros, 2008).

## **1.2.Ácidos grasos (AG)**

Son biomoléculas orgánicas formadas por una larga cadena de átomos de hidrógeno y carbono, que pueden ser saturados o insaturados, cíclicos, ramificados, hidroxilados, con un número no par de átomos de carbono, etc. En la actualidad, se conocen más de 400 ácidos grasos que pueden estar en la leche, vegetales y algunos microorganismos, sin embargo, la mayoría de estos se encuentra en muy bajas concentraciones en los productos que los contienen, afectando muy poco en las características físicas y químicas de los mismos (Badui, 2006).

Por otra parte, el número de ácidos grasos que se encuentran en los alimentos son muy pocos y por lo general están esterificados, integrando los triacilglicéridos y cuando llegan a presentarse en estado libre se debe a que ocurrió una hidrólisis del enlace éster; son ácidos monocarboxílicos de cadena lineal, con un número par de átomos de carbono, ya que su metabolismo se lleva a cabo mediante moléculas de carbono pares (Badui, 2006).

### **1.2.1. Ácidos grasos saturados**

Los ácidos grasos saturados están formados por una cadena de átomos de carbono completamente hidrogenada, esta puede tener de 4 a 26 átomos de carbono unidos por enlaces simples. La temperatura o punto de fusión aumenta con el peso molecular o largo de la cadena, así desde el carbono 4 hasta el 8 son líquidos a 25°C y desde el carbono 10 en adelante son sólidos. Su solubilidad en el agua es inversamente proporcional a su peso molecular (Badui, 2006).

Generalmente, este tipo de grasas son de origen animal, y tienen la función principal de proporcionar energía al organismo, sin embargo, pueden estar asociadas a enfermedades y riesgos de salud (Yépez, 2004).

Tabla 1:1 Ácidos grasos saturados más comunes en alimentos

Nombre trivial	Nombre científico	Formula	Punto de fusión (°C)
Butírico	Butanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-5,9
Caproico	Hexanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-3,4
Caprílico	Octanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16,7
Cáprico	Decanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31,6
Láurico	Dodecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44,2
Mirístico	Tetradecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54,4
Palmítico	Hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63
Esteárico	Octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,4
Araquídico	Eicosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	76
Behénico	Docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	79,9
Lignocérico	Tetracosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	84,2
Cerótico	Hexacosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{COOH}$	87,7

Fuente: (Badui, 2006)

### 1.2.2. Ácidos grasos insaturados

Son ácidos grasos formados por una cadena larga de átomos de carbono e hidrógeno unidos mediante enlaces dobles o triples, razón por la cual se los denomina insaturados. Debido a sus insaturaciones, estos compuestos tienen una gran reactividad química, ya que son propensos a la saturación y a transformaciones oxidativas y de isomerización; los ácidos grasos insaturados se encuentran generalmente en estado de líquidos y son de origen vegetal, los conocidos más comúnmente como aceites (Badui, 2006).

En la actualidad, se llevan a cabo muchas modificaciones genéticas en las semillas de los vegetales, lo cual, permite obtener perfiles distintos en los ácidos grasos, algunos de estos ya se comercializan y otros aún están en proceso de desarrollo, estas modificaciones permiten que los aceites sean más estables y evita su rápido

deterioro, sin embargo pueden provocar la disminución del valor biológico por la reducción del contenido de ácidos grasos indispensables (Badui, 2006).

Tabla 1:2. Ácidos grasos insaturados más comunes en alimentos

Nombre trivial	Nombre científico	Formula	Punto de fusión (°C)
Palmitoleico	Hexadeca-9-enoico	$C_{15}H_{29}COOH$	-0,5
Oleico	Octadeca-9-enoico	$C_{17}H_{33}COOH$	13
Linoleico	Octadeca-9:12-dienoico	$C_{17}H_{31}COOH$	-5,0
Linolénico	Octadeca-9:12:15-trienoico	$C_{17}H_{29}COOH$	-11,0
Araquidónico	Eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	$C_{19}H_{31}COOH$	-49,5
Vaccénico	trans-Octadeca-11-enoico	$C_{17}H_{33}COOH$	40
Gadoleico	Eicosa-11-enoico	$C_{19}H_{37}COOH$	23,5
Erúcico	Docosa-13-enoico	$C_{21}H_{39}COOH$	38

Fuente: (Badui, 2006)

Según Badui (2006) las insaturaciones presentan dos tipos de isomerización:

- a) geométrico, cis-trans
- b) posicional, según sea la localización de la doble ligadura en la cadena de átomos de carbono.

### 1.2.2.1. Ácidos grasos trans

De manera natural, los ácidos grasos insaturados presentan una isomerización de tipo cis, en donde los hidrógenos de la cadena están en el mismo lado del doble enlace; sin embargo, existen procesos naturales y artificiales que provocan un cambio en esta isomerización, generando un cambio de cis a trans, en donde los hidrógenos se encuentran en lados opuestos al doble enlace, formándose así los ácidos grasos trans (AGT) (Guzmán, 2011).

Los ácidos grasos trans son moléculas que poseen una estructura más lineal que los isómeros cis, sus dobles enlaces se ubican en varias posiciones dentro de las

moléculas, originando una gran diversidad de posibles isómeros trans (Valenzuela, 2008).

Las funciones metabólicas y estructurales que realizan los ácidos grasos trans en el organismo se producen cuando estos tienen una isomerización de tipo cis, sin embargo, desde el punto de vista tecnológico la isomerización trans produce estructuras más estables, por lo tanto, efectos como la temperatura, presión, pH y algunos catalizadores metálicos son capaces de provocar una reestructuración y formar los ácidos grasos trans (Valenzuela, 2008).

### **1.2.2.2. Formación de los ácidos grasos trans**

#### **1.2.2.2.1. Hidrogenación**

Los AGT, conocidos generalmente como grasas trans, se forman durante un proceso conocido como de hidrogenación (Benjumea & García, 2010), esta consiste en agregar hidrógeno a los aceites vegetales, que son líquidos a temperatura ambiente para volverlos sólidos. La finalidad de este procedimiento es obtener grasas vegetales sólidas como la margarina y la manteca vegetal, que dan frescura y mejor textura a los alimentos industrializados; además, la hidrogenación hace que estas grasas sean menos susceptibles a la oxidación, dicho en otras palabras, no se vuelven rancias, lo que amplía la estabilidad del sabor y la fecha de caducidad de estos productos (Sánchez, 2007).

Dichas grasas se usan en la industria para preparar margarinas, salsas y productos de panadería como panes, galletas, palomitas de maíz, pastas, dulces, chocolates, comidas rápidas; productos de pastelería horneados ricos en grasa, pasabocas fritos, entre otros (Benjumea & García, 2010).

Existen dos fuentes generadoras principales de grasas trans:

- Natural
- Industrial

#### **1.2.2.2.1.1.Hidrogenación natural**

Esta se produce en los animales rumiantes poligástricos, en los cuales, las grasas trans se producen por una biohidrogenación de ácidos grasos insaturados y por bacterias isomerasas gástricas presentes en el rumen, las cuales, producen el cambio de los dobles enlaces cis de las grasas insaturadas a la posición trans (Ballesteros, Valenzuela, Artalejo, & Robles, 2012). Por lo tanto, los ácidos grasos trans son absorbidos por el sistema gastrointestinal del animal; el ácido oleico, linoleico, y linolénico que contienen los granos, hojas, tallos, raíces y piensos que consumen los rumiantes, se hidrogenan e isomerizan, transformándose en derivados di y monoinsaturados con isomería trans (Valenzuela, 2008); estos a su vez, pasan a los músculos y leche, pudiendo por esta razón, encontrar cantidades de estos AGT en leche y carne (Ballesteros, Valenzuela, Artalejo, & Robles, 2012).

La hidrogenación natural, representa alrededor del 1 al 5% del consumo de ácidos grasos trans en la dieta (Valenzuela, 2008).

#### **1.2.2.2.1.2.Hidrogenación industrial**

Otra manera de obtener AGT es por medio de la hidrogenación industrial de aceites vegetales y marinos con la finalidad de obtener productos sólidos o semi-sólidos más estables y de fácil manejo como sustitutos de mantecas o sebos animales (Valenzuela, 2008); durante este proceso, que se realiza bajo condiciones de presión y temperatura, se adiciona gas hidrógeno al aceite en presencia de un metal catalizador (níquel). En estas condiciones los dobles enlaces experimentan varias modificaciones estructurales: el doble enlace puede ser hidrogenado y transformado en un enlace simple (saturado), la localización del doble enlace puede ser modificada y el doble enlace puede cambiar de configuración espacial, dando origen a isómeros trans (Ballesteros, Valenzuela, Artalejo, & Robles, 2012).

Cuando la hidrogenación es completa, el resultado es un producto con 100% ácidos grasos saturados. Sin embargo, si la hidrogenación se realiza bajo condiciones controladas (hidrogenación parcial) se produce una mezcla de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados cis y trans. Los isómeros trans que se

forman en mayor proporción en la hidrogenación parcial de aceites son del ácido linoleico (18:2) (Ballesteros, Valenzuela, Artalejo, & Robles, 2012).

La hidrogenación industrial representa alrededor del 90% del consumo de grasas trans en la dieta (Valenzuela, 2008).

#### 1.2.2.2.2. **Desodorización**

Otro proceso al cual son sometidos los aceites en la actualidad y provocan la formación de AGT, es la desodorización; esta se realiza a temperaturas muy altas (180-270°C) y vacío, en este proceso se debe evitar al máximo el contacto del aceite con el oxígeno para evitar oxidaciones indeseables (Guzmán, 2011).

La desodorización tiene como finalidad mejorar las características organolépticas de los aceites, eliminando olores y sabores desagradables, principalmente de los aceites de origen marino por lo tanto, prácticamente todos los aceites de consumo doméstico contienen pequeñas cantidades de AGT (0,1-1%) y representan el 8% del consumo en la dieta (Valenzuela, 2008).

#### 1.2.2.2.3. **Tratamientos térmicos**

Los procesos de fritura tanto industrial como doméstica, se producen a temperaturas de hasta 180°C por tiempo muy prolongados en ciertas ocasiones, por lo que al utilizar aceites de origen animal o marino poliinsaturados, genera la formación de AGT. El impacto que provoca la fritura en esta formación es muy importante en la alimentación y en la industria de comida rápida. El consumo de AGT provenientes de alimentos fritos representa alrededor del 2% en la dieta diaria (Valenzuela, 2008)

### 1.2.2.3. Ácidos grasos trans presentes en alimentos

Benjumea y García (2010), de la universidad de Caldas, han informado el contenido de grasas trans en algunos alimentos, representados en la tabla 1:3.

Tabla 1:3 Ácidos grasos trans en alimentos

Alimento	Tamaño de Porción	Gramos de grasas Trans
Patatas fritas	150 g	7 gr. de grasas trans
Bollo industrial	1 unidad	5-6 gr. de grasas trans
Hamburguesa	200 gr	3 gr. de grasas trans
Quesito	1 unidad	2,2-5,2 gr. de grasas trans
Magdalena	1 unidad	1-2,1 gr. de grasas trans
Galletas	2 unidades	1,3 gr. de grasas trans
Margarina	1 cucharada	0,9 gr. de grasas trans
Panecillo comercial	1 unidad	0,85 gr. de grasas trans
Una barra de chocolate	80 gramos	0,75 gramos de grasas trans
Barrita de cereal	1 unidad	0.4 gr de grasas trans

Fuente: (Benjumea & García, 2010)

Sin embargo, no se puede asegurar que únicamente estos productos contengan ácidos grasos trans, existe una infinidad de alimentos en los que utilizan aceites hidrogenados como ingrediente y a más de ello son sometidos a muchos procesos tecnológicos que provocan un aumento de ácidos grasos trans.

### 1.3. Impacto de los AGT en la salud

Hay pruebas concluyentes de que el consumo de AGT aumenta el riesgo de cardiopatía coronaria y posiblemente aumenta el riesgo de muerte súbita de origen cardíaco y de diabetes mellitus; estos datos han suscitado gran preocupación a escala mundial, dada la gran carga de morbilidad y discapacidades que plantean las enfermedades cardiovasculares (Benjumea & García, 2010) por lo que se estudia continuamente cual es el verdadero efecto que ocasionan.

Según muchos estudios, la razón por la cual los AGT producen todos estos daños en el organismo, es debido a que estructuralmente son muy parecidos a las grasas saturadas y tienen una influencia similar sobre la estructura y función de las membranas celulares; además, la digestión y absorción intestinal de los AGT es muy parecida a la de los ácidos grasos cis, acumulándose de esta manera en el tejido adiposo y en los fosfolípidos de las membranas celulares (Valenzuela, 2008).

Es importante tomar en cuenta que la cantidad y el tipo de AGT que se absorban en los tejidos y su distribución son diferentes, pues cada tejido discrimina o incorpora más que otros este tipo de isómeros; por ejemplo el corazón y el cerebro prácticamente no los incorporan a la misma medida que el hígado o tejido adiposo, por lo tanto, los tejidos humanos absorben los AGT de la dieta según los niveles de ingesta y se van convirtiendo en energía en la misma proporción que los ácidos grasos saturados por lo que no se acumulan en mayor cantidad que otras grasas (Valenzuela, 2008).

### **1.3.1. Enfermedades asociadas a los AGT**

Las grasas trans se relacionan con enfermedades cardiovasculares, pues, elevan el colesterol total y LDL modificando negativamente el perfil lipídico y reduciendo los niveles de colesterol HDL; estos compiten con los ácidos grasos esenciales, razón por la cual, los efectos de dietas con elevado contenido de isómeros trans son muy críticos cuando la dieta no aporta una cantidad adecuada de ácidos grasos esenciales (Valenzuela, 2008). Además, el proceso de hidrogenación “*destruye grasas saludables Omega-3 que en forma natural contienen aceites vegetales*” (Benjumea & García, 2010).

Según algunos estudios, los AGT favorecen al desarrollo de diabetes por una resistencia a la insulina, sin embargo, no existen datos que aseguren este efecto; otros estudios revelan un efecto negativo de estos en la expresión de genes asociados a la regulación de la sensibilidad a la insulina (Valenzuela, 2008) y desencadenan

procesos inflamatorios que a su vez aceleran la lesión aterosclerótica (Benjumea & García, 2010).

Otra enfermedad relacionada al consumo de AGT es el cáncer, existe una correlación entre el incremento de la grasa en la dieta y un aumento de cáncer de mama, colon y próstata. Sin embargo, no existen estudios que aseguren de manera contundente la incidencia de cáncer por el consumo de AGT, pero si muchos organismos de nutrición sugieren su disminución considerable en el consumo de grasas en general (Valenzuela, 2008).

#### **1.4. Regulaciones para AGT**

Después de todos los estudios realizados sobre los efectos que causan los AGT en la salud de los consumidores, varios países a nivel mundial han ido estableciendo nuevos reglamentos sobre la cantidad de grasas trans presentes en los alimentos y la importancia de disminuir el uso de grasas hidrogenadas utilizadas como materia prima en muchos productos.

En el año 2003, Dinamarca fue el primer país que decreto una ley para disminuir el uso de grasas trans en alimentos, prohibiéndose todos aquellos productos que contengan más del 2% de ácidos grasos trans del total de grasas en el alimento. Tres años después, el departamento de salud de New York, exigió que en los veinte mil restaurantes de la ciudad no usen grasas trans artificiales, estableciendo que cada porción de comida debe contener menos de medio gramo de AGT (Signy & Rivera, 2015).

En el año 2008, la Organización Mundial de la Salud, establece que el consumo de grasas trans debe representar menos del 1% de las calorías diarias ingeridas.

En el Ecuador, en el año 2013 se establece un nuevo reglamento para establecer los límites máximos de grasas trans presentes en grasas, aceites, margarinas e insumos para alimentos, panadería, restaurantes o servicios de comida y establece:

*“Art. 1.- El contenido de ácidos grasos trans en grasas, aceites vegetales y margarinas que se venden directamente al consumidor, no superará dos (2) gramos de ácidos grasos trans por cien (100) gramos de materia grasa” (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013).*

*“Art. 2.- El contenido de ácidos grasos trans en grasas, aceites comestibles e insumos utilizados en la industria de alimentos, panaderías, restaurantes o servicios de comidas (catering), pueden contener hasta dos (2) gramos de ácidos grasos trans por cien (100) gramos de materia grasa” (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013).*

*“Art. 3.- El contenido de ácidos grasos trans presentes naturalmente en grasas animales provenientes de carnes de rumiantes y sus derivados y/o productos lácteos, no está sujeto a las exigencias mencionadas en los artículos 1 y 2” (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013).*

*“Art. 4.- Las disposiciones que con este Acuerdo Ministerial se expiden son de cumplimiento obligatorio y se aplican a todos los aceites y grasas comestibles, margarinas de venta directa, así como los utilizados como materia prima e insumos para la industria de alimentos, panaderías, restaurantes o servicios de comida (catering), que se comercialicen para consumo humano en el territorio nacional” (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013).*

*“Art. 5.- El incumplimiento de las disposiciones contenidas en este Acuerdo Ministerial, será sancionado de conformidad a la Ley Orgánica de Salud” (Acuerdo Ministerial No 4439, 2013).*

## 1.5. Etiquetado para AGT en alimentos

En el Ecuador, para el etiquetado de AGT en alimentos, se ha establecido la norma INEN 1334.2 con su última revisión en el año 2011. Esta norma define como ácidos grasos trans *“a todos los isómeros geométricos de ácidos grasos mono insaturados y poli insaturados que poseen en la configuración trans dobles enlaces carbono-carbono no conjugados”* (Norma INEN 1334.2:2011, 2011).

### 1.5.1. Nutrientes que deben declararse

Para la declaración de los nutrientes, la norma presenta la tabla 1:4 con los nutrientes y valores diarios recomendados, además indica que *“el nombre de cada nutriente debe aparecer en una columna seguido inmediatamente por la cantidad en peso del nutriente usando “g” para gramos o “mg” para miligramos, “µg” para microgramos”* (Norma INEN 1334.2:2011, 2011).

Tabla 1:4. Nutrientes de declaración obligatoria y Valor Diario Recomendado (VDR)

Nutrientes a declararse	Unidad	Niños mayores de 4 años y adultos
Valor energético, energía (calorías)	kJ	8380
	Kcal	2000
Grasa total	g	65
Ácidos grasos saturados	g	20
Colesterol	mg	300
Sodio	mg	2400
Carbohidratos totales	g	300
Proteína	g	50

Fuente: (Norma INEN 1334.2:2011, 2011)

En esta norma, se indica que *“A más de los nutrientes de declaración obligatoria, en aquellos productos cuyo contenido total de grasa sea igual o mayor 0,5 g por 100 g (sólidos) o 100 ml (líquidos), deben declararse además de la grasa total, las cantidades de ácidos grasos saturados, y ácidos grasos trans, en gramos”* (Norma INEN 1334.2:2011, 2011).

“Cuando se haga una declaración de propiedades con respecto a la cantidad o el tipo de ácidos grasos o la cantidad de colesterol, debe declararse las cantidades de ácidos, ácidos grasos mono insaturados, ácidos grasos poli insaturados y ácidos grasos trans” (Norma INEN 1334.2:2011, 2011).

“Cuando el alimento contenga más de 3 g de grasa total o se declaren la cantidad y/o el tipo de ácidos grasos, esta declaración debe seguir inmediatamente a la declaración del contenido total de grasas y debe usarse el formato siguiente:”

Tabla 1:5. Contenido de grasa y ácidos grasos

Contenido total de grasa	...	g
ácidos grasos saturados	...	g
ácidos grasos-trans	...	g
de las cuales ácidos grasos mono insaturados	...	g
ácidos grasos poli insaturados	...	g

Fuente: (Norma INEN 1334.2:2011, 2011)

### 1.5.1.1.Reporte datos de cada nutriente

Para reportar los datos de cada nutriente en el alimento, se debe seguir algunas indicaciones con respecto a la cantidad de cada uno; por motivos de interés, en la tabla 1:6 se indica únicamente las especificaciones sobre grasa total, grasa monoinsaturada y grasas trans.

Tabla 1:6. Reporte de los datos de cada nutriente

Nutriente	Valores	Debe expresarse
Grasa total y	< 0,5 g	Puede expresarse como “cero”
Grasa saturada	< 3 g	en incremento de 0,5g
	> 3g	número de gramos más cercano a la unidad
Grasa monoinsaturada,	< 0,5 g	Puede expresarse como “cero”
Grasa poliinsaturada	< 3 g	en incremento de 0,5g
	> 3g	número de gramos más cercano a la unidad
Grasas Trans	< 0,5 g	Puede expresarse como “cero”
	< 3 g	en incremento de 0,5g
	> 3g	número de gramos más cercano a la unidad

Fuente: (Norma INEN 1334.2:2011, 2011)

## **1.6. Papas fritas**

La papa constituye uno de los principales alimentos en la canasta familiar debido a su alto valor nutritivo que aporta a la dieta; desde el punto de vista biológico, la papa aporta gran cantidad de energía, se clasifica en segundo lugar después de los cereales; en cuanto a la relación de proteína carbohidratos, se considera que la papa aporta mayor cantidad de estos nutrientes que otros cereales, raíces y tubérculos, pues la proteína que aporta tiene un buen balance de aminoácidos esenciales; además contiene grandes cantidades de tiamina, niacina, riboflavina y vitamina C (Serrano & Lara, 2008).

La papa como tal, se consume principalmente como producto natural sin procesos industriales; sin embargo, en la actualidad su empleo como producto procesado está adquiriendo cada vez más importancia, existiendo mucha variedad en sus presentaciones; pueden ser papas pre-fritas congeladas, papas fritas tipo chips y productos pre-fritos formulados con puré deshidratado (Trincheró, Monti, & Ceroli, 2007).

Por otra parte, las presentaciones de la papa mayormente consumidas son las papas fritas tipo chips o papas fritas en bastones, las cuales, son muy criticadas por organismos de la salud debido al alto porcentaje de grasa que aportan (35% más o menos) y su contenido de acrilamida (componente cancerígeno); lamentablemente es un producto que cada vez se consume con mayor frecuencia principalmente por niños y adolescentes, consumidores que debido al tipo de alimentación que llevan en la actualidad son muy vulnerables a contraer enfermedades como la obesidad (Serrano & Lara, 2008).

### **1.6.1. Papas tipo chips**

Las papas fritas tipo chips nacieron en un restaurante llamado Moon Lake Lodge's en Saratoga Springs, New York, en el año de 1853. El chef de este restaurante llamado George Crum, ante las continuas quejas de un cliente sobre la finura de las

papas, decidió rebanarlas tan finas que no puedan ser pinchadas con un tenedor, desde ahí esto se fue regando hasta que en 1920 se crea la primera máquina rebanadora de papas (Serrano & Lara, 2008).

En la actualidad, existe una variedad muy grande de papas fritas tipo chips, desde las más sencillas que son únicamente fritas, saladas y empaquetadas en bolsas, hasta las más elaboradas con hierbas aromáticas, especias, queso, entre otros (Serrano & Lara, 2008); sin embargo, el atractivo de estas papas no depende tanto de su sabor, sino radica en los cambios que se producen en la microestructura de la papa ocasionada por la fritura y sus efectos sobre las propiedades sensoriales (Pedreschi & Aguilera, 2002).

En el Ecuador no existe una norma específica para papas fritas tipo chips, sino es una norma general para bocaditos de productos vegetales, como tubérculos, cereales, leguminosas, semillas, frutas horneada o fritos listos para el consumo; la cual, lamentablemente no es una norma muy estricta que exija estándares de calidad más elevados (Norma INEN 2561:2010, 2010).

### **1.6.2. Papas fritas en bastones**

Existen muchas versiones sobre el verdadero origen de las papas fritas tipo bastón, sin embargo, estas se atribuyen a Bélgica y Francia; se dice que los franceses inventaron el plato a finales del siglo XVIII sobre el Pont Neuf, los vendedores se instalaban en las calles de París y preparaban las papas a vista de sus clientes dentro de sartenes y braseros. Los belgas por otra parte, las cocinaban en dos etapas primero en aceite y luego con grasa (Maglione, 2010).

Tanto en las papas de tipo chips como bastón, la calidad se determina de acuerdo a varios factores que van desde la aptitud de la variedad hasta factores técnicos medioambientales que se manejan durante el cultivo de la papa, dándole atributos en cuanto a textura, olor, sabor y color (Navas, Ledezma, & Martínez, 2015).

Otro aspecto que permite a la papa adquirir las características organolépticas que las hacen tan peculiares es la fritura; en el caso de las papas tipo bastón, se realiza una doble fritura, la primera se debe realizar a 150°C por 4 min y la segunda a 180°C por dos minutos (Navas, Ledezma, & Martínez, 2015).

En el Ecuador no existe una norma específica para la venta de papas fritas tipo bastón, sino las normas se dirigen más al local comercial en donde se expende, exigiendo el cumplimiento de BPM principalmente, sin referirse a los requisitos nutricionales que deben cumplir.

### **1.7. Espectroscopía**

Todos los análisis y estudios que se realizan a nivel molecular requieren de muchos métodos y técnicas analíticas sensibles que permitan determinar de manera cualitativa y cuantitativa cada componente que forman las moléculas; por lo que, para realizar estas determinaciones es importante una técnica como la espectroscopía que permita investigar la estructura y dinámica de la materia tanto a nivel atómico como de moléculas más grandes, permitiendo su caracterización físico química y biológica (Abril, y otros, 2008).

La espectroscopía se fundamenta en la absorción o emisión de energía radiante, mediante una interacción que existe entre la radiación electromagnética y la materia; esta absorción o emisión de energía se da a diferentes longitudes de onda y, la eficiencia con la que se dé depende de la estructura atómica y las condiciones del medio; por lo tanto, esta técnica es muy importante para la determinación y caracterización de biomoléculas (Abril, y otros, 2008).

La espectroscopia puede ser aplicada en diferentes campos

- Espectroscopía de impedancia electrodinámica (EIS)
- Espectroscopía astronómica
- Espectroscopía de absorción atómica (AA)

- Espectroscopía de fluorescencia
- Espectroscopía de rayos X
- Espectroscopía de resonancia magnética nuclear
- Espectroscopía de microondas
- Espectroscopía infrarroja
- Espectroscopía ultravioleta-visible

### **1.7.1. Espectroscopía infrarroja**

La espectroscopía infrarroja tiene ya muchos años de existencia, pues, el primer espectro fue observado en el año de 1881 por Abney y Festing (Schrader, 1995), quienes prepararon emulsiones fotográficas sensibles al infrarrojo cercano y fotografiaron el espectro de absorción de 48 líquidos orgánicos, encontraron bandas características en estos espectros, las cuales asociaron con la presencia de hidrógeno en las moléculas estudiadas (Gómez & Murillo, 2006).

De todas las propiedades de un compuesto orgánico, la que da más información acerca de su estructura, es el espectro infrarrojo (Morrison & Boyd, 1998).

La espectroscopía infrarroja se fundamenta en la absorción de la radiación IR cuando las moléculas están en vibración, es así que, una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando la energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula, es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja (Rosales, 2011).

Cuando la radiación infrarroja incide sobre una muestra es capaz de provocar cambios en los estados vibracionales de las moléculas constituyentes de la misma. La absorción de radiación por parte de una muestra es indicativa del tipo de enlaces y grupos funcionales presentes en la misma (Rosales, 2011).

Existen dos tipos de vibración: tensión y flexión.

- Tensión: Existe un cambio continuo entre la distancia interatómica, se produce en el eje del enlace entre dos átomos. Se genera en un rango de 4000  $\text{cm}^{-1}$  hasta 1500  $\text{cm}^{-1}$ .
- Flexión: Se produce por un cambio de ángulo de las moléculas, ocurre cuando existen dos enlaces, puede ser tijereteo, balanceo, torsión y aleteo. Se generan en un rango de 1500  $\text{cm}^{-1}$  a 600  $\text{cm}^{-1}$ .

Por otra parte, las partes específicas del espectro infrarrojo se denotan por su longitud de onda o por su frecuencia. La longitud de onda se expresa en micrones ( $1\mu=10^{-4}\text{cm}$ ) la frecuencia no se expresa en Hertz sino en número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), a menudo se los llama centímetros recíprocos, el número de onda es simplemente el número de ondas por centímetro y es igual al recíproco de la longitud de onda en centímetros (Morrison & Boyd, 1998).

Tanto desde el punto de vista instrumental como de sus aplicaciones es conveniente dividir la región infrarroja en tres regiones denominadas infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo medio (MIR) e infrarrojo lejano (FIR). La gran mayoría de las aplicaciones analíticas clásicas de la espectroscopía infrarroja se basan en el empleo del infrarrojo medio (4000-600  $\text{cm}^{-1}$ ) y el infrarrojo cercano, que proporciona la posibilidad de convertir esta técnica en una técnica cuantitativa (Rosales, 2011).

El infrarrojo cercano es muy utilizado debido a que permite un análisis cuantitativo sin necesidad de preparación previa de la muestra, sin consumirla o destruirla y con frecuencia este se combina con un espectrofotómetro visible ultravioleta que permiten un mejor control del proceso (Serrano Martínez).

El infrarrojo lejano requiere de fuentes y materiales ópticos especiales y principalmente se utiliza en el análisis de compuestos orgánicos, inorgánicos u

organometálicos, es decir, muestras que tengan masa atómica elevada que permita proporcionar la información necesaria para el análisis (Serrano Martínez).

Por otra parte, el infrarrojo medio ha evolucionado mucho en los últimos años, incorporando el método de transformada de Fourier (FTIR), lo cual, ha permitido mejorar la calidad de los espectros y minimizar el tiempo de obtención de datos (Serrano Martínez).

Entre muchas de las ventajas que presenta la espectroscopía infrarroja, se encuentra su versatilidad, pues, permite estudiar prácticamente cualquier muestra sin importar el estado en el que se encuentre, pueden ser líquidos, disoluciones, pastas, polvos, fibras, films, gases o superficies (Serrano Martínez).

### **1.7.2. Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)**

La técnica transformada de Fourier supuso una revolución en la espectroscopía en general y particularmente en la espectroscopía infrarroja, permitiendo la obtención de espectros de forma rápida, precisa y con relaciones Señal/Ruido (S/N) elevadas (Rosales, 2011).

Principalmente, la espectroscopía FTIR se fundamenta en la espectroscopía molecular, en la cual, las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de onda específicas, conocidas como frecuencias de resonancia o vibración, (Páez, 2014); tiene la ventaja de poder revelar la identidad de dos compuestos y la estructura de uno nuevo, pues dos sustancias que tienen espectros infrarrojos idénticos, efectivamente son idénticas en miles de propiedades físicas, por lo que ciertamente se debe tratar de un mismo compuesto (Morrison & Boyd, 1998).

Además, esta técnica nos permite conocer la estructura de un compuesto nuevo al informar los grupos de átomos que se encuentran en una molécula o que no están en

ella, pues, un grupo de átomos determinado da origen a bandas de absorción características, es decir, un grupo específico absorbe luz de frecuencias determinadas, que son prácticamente las mismas de un compuesto a otro (Morrison & Boyd, 1998).

Sin embargo, una de las desventajas que presenta la espectroscopía FTIR es la confusión que puede existir entre los grupos funcionales que forman la muestra, por ejemplo, puede ser que una muestra este formada por componentes con los mismos grupos funcionales y por lo tanto se torna difícil determinar que componente realmente lo está formando (Páez, 2014).

Por lo tanto, el equipo utilizado para realizar estos análisis está formado por una celda de atenuación y recibe el nombre de FTIR; es el más utilizado por los laboratorios de análisis y lo que hace es registrar la cantidad de luz absorbida como una función del barrido a través de los numero de onda de cada una de las moléculas presentes (Páez, 2014).

#### **1.7.2.1. Reflectancia total atenuada**

Se fundamenta en la medición de los cambios que ocurren en un haz IR reflejado internamente cuando el haz entra en contacto con la muestra (Bradley, 2002).

El haz IR se dirige sobre un cristal ópticamente denso con un alto índice de refracción en un ángulo determinado, esta reflectancia interna, crea una onda evanescente que se extiende más allá de la superficie del cristal, de tal manera que, ésta pase hasta la muestra contenida en el cristal (Bradley, 2002).

En la región del espectro en la que la muestra absorbe energía la onda evanescente disminuye su intensidad, la energía atenuada de cada onda evanescente se pasa a los

rayos infrarrojos y estos salen por el extremo del cristal hacia al detector (Bradley, 2002).

Los cristales más utilizados son el ZnSe y el germanio, siendo el ZnSe muy bueno para líquidos, pastas no abrasivas y geles, pero no para un amplio rango de pH como es el caso del germanio que si puede ser utilizado en ácidos y alcalinos ampliamente (PerkinElmer, 2005).

En el caso de la limpieza de este cristal es muy importante tener en cuenta que es muy delicado y requiere de una limpieza muy cuidadosa, debe utilizarse telas sin pelusas y solventes como metanol e isopropanol, antes del experimento verificar que esté completamente limpio el cristal (PerkinElmer, 2005).

### **1.7.3. Espectroscopia en AGT**

Para la determinación de ácidos grasos trans, se puede realizar por cromatografía de gases (GC) y espectroscopía infrarroja FTIR, sin embargo, el método GC no es muy aconsejable debido al costo que supone la preparación de las muestras, la adquisición del equipo y el mantenimiento del mismo (Blanco Chavez & Aymee Caballero, 2015).

Por esta razón, American Oil Chemists' Society (AOCS) y Association of Official Analytical Chemists (AOAC) han desarrollado un método para la cuantificación de ácidos grasos trans por espectroscopía IR éste, se basa en la medición de la vibración flexión característica de los enlaces trans aislados a  $966\text{ cm}^{-1}$  ( $10.3\text{ cm}$ ). Con el uso del accesorio de reflectancia total atenuada horizontal (ATR) en la espectroscopía FTIR, no es necesario que las muestras sean diluidas en disolventes por lo que aumenta la exactitud y rapidez del método (Blanco Chavez & Aymee Caballero, 2015).

Actualmente, la espectroscopía infrarroja ofrece la posibilidad de reemplazar otros métodos, ya que presenta algunas ventajas: es una técnica rápida y no destructiva, actualmente con el software estadístico se puede manipular fácilmente la información espectral y es capaz de realizar calibraciones multivariantes (Blanco Chavez & Aymee Caballero, 2015).

Además, es adecuada para el uso industrial debido a su facilidad de uso y el relativamente bajo costo financiero de obtener y correr el equipo. El método tiene el potencial de ser usado para el chequeo y monitoreo de productos grasos y la determinación de ácidos grasos trans totales para propósitos de etiquetado; sin embargo, existen algunas desventajas como la de no poder identificar qué tipo de ácido graso trans o cis se encuentran presentes lo que en con CG si se puede lograr (Blanco Chavez & Aymee Caballero, 2015).

## **1.8.Tratamiento Estadístico**

Uno de los mayores problemas a los cuales se enfrentan los investigadores día a día, es la selección de una herramienta estadística apropiada para la interpretación de los datos obtenidos; en la actualidad, se han desarrollado muchos tratamientos estadísticos que nos permiten la cuantificación de compuestos presentes en una muestra, es así que gracias a la aplicación de métodos multivariantes muchos análisis cualitativos se pueden transformar en cuantitativos o semi cuantitativos.

### **1.8.1. Métodos de regresión**

Los métodos de regresión *“generan una ecuación para describir la relación estadística entre uno o más predictores y la variable de respuesta y para predecir nuevas observaciones”* (Minitab Inc, 2016).

Existen muchos métodos de regresión, entre ellos está la metodología MEE, en la cual, se utilizan modelos causales o de ecuaciones estructurales, esta permite un análisis de redes complejas en las cuales cada uno suele estar medido por múltiples

variables. Por lo que se considera una técnica superior a las técnicas estadísticas tradicionales al permitir la inclusión explícita del error de medida y pueden incorporar constructos abstractos (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

En la espectroscopía infrarroja los métodos más utilizados son: mínimos cuadrados clásicos (CLS), mínimos cuadrados inverso (ILS), mínimos cuadrados parcial (PLS), mínimos cuadrados ordinarios (OLS) o regresión de componentes principales (PCR). Existen ciertos casos en los que no es necesario conocer una concentración específica de los compuestos presentes, sino más bien lo que se busca es conocer cuáles son dichos componentes, en este caso entonces, se puede aplicar otros métodos que permitan comparar muchas variables como la intensidad, frecuencia, ancho de la banda, etc. dentro de un juego de datos; estos métodos pueden ser análisis lineal discriminante (LDA) o redes neurales artificiales (ANNs) (Serrano Martínez).

#### **1.8.1.1. Método de regresión mínimos cuadrados parciales (PLS)**

El método de regresión mínimos cuadrados parciales (PLS), “*es una técnica de análisis multivariantes para testar modelos estructurales*”; tiene como objetivo realizar un análisis casual-predictivo cuando los problemas que se van analizar son complejos y no existe un conocimiento teórico amplio. Esta técnica utiliza un enfoque que se fundamenta en componentes para la estimación y se basa en correlaciones; fue diseñada para extraer componentes principales de una matriz X de variables predictoras y los componentes de la matriz X se seleccionan específicamente; de esta manera se puede predecir las variables Y por lo que la matriz X e Y están íntimamente relacionadas (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

Básicamente, lo que busca la modelización PLS es la predicción de variables dependientes, tanto latentes como manifiestas; con esto lo que se busca es maximizar la varianza explicada ( $R^2$ ) de las variables dependientes, por lo que las estimaciones de los parámetros tienen la capacidad de minimizar las varianzas residuales de las variables endógenas. En conclusión, lo que PLS hace es explicar la varianza, es

decir, analizar la importancia de las relaciones y su  $R^2$  resultante, como en una regresión lineal (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

La diferencia de PLS con otros MEE es precisamente sus objetivos, pues PLS se adapta mejor a modelos predictivos y al desarrollo o confirmación de una teoría, por lo que los otros métodos se acercan más al análisis del modelo; además, PLS se adapta especialmente al análisis de muestras de datos pequeñas y a datos que no muestran necesariamente la distribución normal multivariante requerida por los MEE basados en covarianzas (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

Por otra parte, existen consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de aplicar PLS, este es el caso del tamaño de la muestra, pues esta influye en la robustez de los test estadísticos, la muestra debería ser un múltiplo grande del número de constructos en el modelo puesto que está basado en la regresión lineal, se debe tener como mínimo 10 veces más casos que el número de ítems que miden el constructo más complejo del modelo (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

Otras consideraciones metodológicas que se deben tomar en cuenta son:

- Determinar la naturaleza apropiada de las relaciones entre medidas y constructos.
- Valorar la fiabilidad y validez de las medidas
- Interpretar los coeficientes estructurales, determinando la adecuación del modelo
- Seleccionar un modelo final a partir del conjunto de alternativas disponibles.

Adicionalmente, es importante que el modelo PLS sea analizado e interpretado en dos etapas:

1. La valoración de la fiabilidad y validez del modelo de medida
2. La valoración del modelo estructural.

De esta manera se asegura que las medidas de los constructos son válidas y fiables antes de tratar de obtener conclusiones sobre las relaciones entre ellos (Lévy Mangin & Varela Mallou, 2006).

### **1.8.2. Análisis de Conglomerados**

El análisis de conglomerados o también llamado Clúster, es un análisis multivariante que permite dividir un conjunto de objetos en grupos cuyos perfiles sean similares entre si y que los objetos de clústers diferentes sean distintos, es decir que estén muy alejados del grupo (Salvador Figueroa, 2001).

#### **1.8.2.1. K-means**

K-medias o K-means es un algoritmo que fue creado en el año de 1967 y fue muy difundido gracias a su fácil aplicación, este método permite una clasificación simple de un conjunto de objetos en un determinado número K de clústeres (García Cambroner & Gómez Moreno, 2006); este algoritmo se lo utiliza cuando las variables son de tipo cuantitativo y la distancia cuadrática Euclidea es usada como medida de diferencia; además describe un criterio de cómo partir un conjunto de puntos en k-grupos (Gimenez, 2010).

El método de K-means, recibe este nombre debido a que representa cada uno de los clústers por la media de sus puntos, es decir, por un centroide; esta representación tiene la ventaja de proporcionar un significado gráfico y estadístico inmediato por lo que cada clúster es caracterizado por su centroide (García Cambroner & Gómez Moreno, 2006).

El modelo de K-means se elabora en cuatro etapas:

- Etapa 1: sitúa K puntos en el espacio donde se encuentran los objetos a clasificar, estos puntos representan los centroides iniciales de cada grupo.

- Etapa 2: cada objeto es asignado a un grupo de acuerdo al centroide más cercano.
- Etapa 3: una vez que todos los objetos han sido asignado a una clase, se recalcula las posiciones de los K centroides.
- Etapa 4: se repite el paso anterior las veces necesarias para que los centroides se estabilicen y se pueda lograr una clasificación de los objetos en grupos que permitan ser medidos entre ellos (Sancho Caparrini, 2009).

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Introducción

Para llevar a cabo cada uno de los objetivos planteados en el presente proyecto, se realizan varios experimentos mediante el uso de materiales de laboratorio y la aplicación de metodologías ya establecidas por entidades químicas, por lo que, en este capítulo se detallará cada uno de los materiales empleados, así como la metodología aplicada en el tratamiento de muestras, cálculos y resultados.

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1. Muestras

- Papas fritas tipo chips
- Papas fritas en bastones (salchipapas)

##### 2.1.2. Reactivos

- Éter de petróleo

##### 2.1.3. Instrumental

- Vasos de extracción
- Dedales de celulosa
- Pilon de laboratorio

##### 2.1.4. Equipos

- Extractor de grasa Velp Scientific

- Espectrofotómetro infrarrojo NICOLET IR 100 FTIR
- Balanza analítica
- Estufa

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Toma de muestras

Para la obtención de las muestras de papas fritas industriales, se realizó una inspección previa de marcas existentes en los principales supermercados de la ciudad de Cuenca; se pudo observar que existía una mayor variedad en supermaxi y coral hipermercados; se realizó una lista de todas las marcas encontradas y se escogió 13 de ellas (tabla 2:2), cada una con al menos 2 presentaciones; además 2 señoras que expende papas fritas tipo chips fuera de las iglesias. Para el muestreo de papas fritas de expendio en locales de comida rápida, se escogió 5 locales de salchipapas más consumidos en la ciudad de Cuenca y 3 locales transnacionales (tabla 2:1); se analizaron cada muestra por triplicado dando un total de 146 muestras.

Tabla 2:1. Papas fritas de expendio en locales de comida rápida

Muestra	Tipo
Bar UDA	Bastón
La veci	Bastón
Mickey	Bastón
La casa de la salchipapa	Bastón
El cincuentazo	Bastón
KFC	Bastón
Burger King	Bastón
McDonald's	Bastón

Tabla 2:2. Marcas de papas fritas industriales

Marca	Nombre	Sabor
Cruck's	Patatas	Natural, cebolla, picante y palito.
Yupi	Rizadas	Natural, cebolla, mayonesa, limón, pollo.
Pepsico	Ruffles	Natural, cebolla, picante, pollo, twist.
Pepsico	Lays	Natural, artesanas, tocino.
Grupo superior	Chipz	Natural y cebolla
Albricias azuayas	Albricias Azuayas	Natural y palito
La quiteña	La quiteña	Natural
Flamingo	Flamingo	Natural y palito
Multigoods	Papas extremas	Natural
Supermaxi	Supermaxi	Natural y cebolla
Carlisnacks	Pa' fritas	Pollo, casera, limón, parrillada, cebolla, picante
Sarita	Sarita	Cebolla
Frituras	Frituras	Natural, cebolla, picante y palito
Sin marca	Sra. San Alfonso	Natural
Sin marca	sra. Catedral	Natural

### 2.2.2. Proceso de extracción de grasa

El proceso de extracción de grasa en papas fritas se realizó mediante el uso del Extractor de grasa Velp Ser 148 cuyo funcionamiento se fundamenta en tres etapas: inmersión, lavado y recuperado con tiempos de 25 min, 30 min y 45 min respectivamente, estos tiempos están ya establecidos para papas fritas en el manual del equipo.

#### 2.2.2.1. Molido

Para la extracción de la grasa, fue necesario triturar las muestras tipo chips con un pilón dentro de la misma funda; para evitar pérdidas de grasa en el mortero, mientras que las papas tipo bastón se las corto en cuadraditos.

#### 2.2.2.2. Extracción

Una vez trituradas y cortadas las papas, se colocó en dedales de celulosa una cantidad aproximada de 5 g y en los vasos de extracción se colocó 70 ml de éter de petróleo.

El proceso de extracción inicia con la etapa de inmersión, la cual tiene una duración de 25 min, en esta fase el dedal se sumerge en el vaso de extracción, mientras éste se calienta hasta una temperatura de 115°C; una vez concluido este tiempo, pasa a la siguiente etapa en la que se eleva los dedales por 30 min para que todo el éter se escurra, de manera que al final éste se evapore y pueda ser recolectado en cámaras para ser usado en una posterior extracción.

Una vez concluidas las tres etapas, se colocaron los vasos de extracción en una estufa a 75°C con la finalidad de que todo el éter remanente pueda ser evaporado y que el peso final sea únicamente de la grasa presente en las papas.



Figura 2-1 Extractor de grasa por solvente Velp Ser 148

### 2.2.2.3. Cuantificación de grasa total

En cuanto a la cuantificación de la grasa total, se aplicó la siguiente ecuación

$$\% \text{ grasa total} = \frac{P4 - P3}{P1 - P2} \times 100$$

En donde:

- P1= peso del dedal vacío
- P2= peso del dedal + muestra
- P3= peso del vaso vacío
- P4= peso del vaso + grasa

### 2.2.3. Medición de AGT por espectroscopia infrarroja FTIR

El proceso de medición de AGT se realizó en un espectrofotómetro infrarrojo NICOLET IR 100 FTIR, éste cuenta con un dispositivo ATR formado por un cristal de ZnSe en el cual se colocó la muestra previamente extraída; las condiciones de trabajo en el espectrofotómetro fueron: un barrido entre 750 y 3000  $\text{cm}^{-1}$ , con 32 espectros, gain 4 y en absorbancia.

### 2.2.4. Cálculos

Para realizar los cálculos se tomó como referencia un modelo desarrollado en Pakistán por Sherazi (2008), el cual fue validado en la tesis “Identificación de ácidos grasos trans en galletas industriales y artesanales mediante espectroscopía infrarroja”; este modelo establece que los picos de interés para la determinación de AGT se encuentran en un rango de 945-990  $\text{cm}^{-1}$  y la ecuación para determinar el porcentaje de AGT es:

$$\% \text{AGT} = -0,15776 + 1,84724 * \text{Área}_{945-990\text{cm}^{-1}}$$

Dónde:

- a= -0,15776
- b= 1,84724
- Área = área del pico calculada

Para la determinación de la relación concentración y señal de cada pico, fue necesario el uso del programa OMNIC 7.3 de Thermo Electron Corporation, cada

espectro se aplicó línea base automática y suavización automática para que el área del pico sea lo más real posible.

#### **2.2.5. Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas**

Para identificar el perfil de los ácidos grasos presentes en la grasa de cada una de las muestras, se desarrollaron modelos matemáticos en Matlab mediante la aplicación del método de regresión lineal PLS, explicado en el capítulo anterior; para su desarrollo se tomaron los espectros de los patrones propuesto por Gálvez (2016), permitiendo así conocer la presencia de ácido mirístico, esteárico, láurico, palmítico, linoleico, linolénico y oleico mediante una clasificación de cada longitud de onda obtenida en los espectros de las muestras que coincidan con las de estos ácidos grasos; elaborando posteriormente un promedio de la cantidad presente de cada uno.

#### **2.2.6. Grupos de grasas comestibles utilizados en el proceso de fritura.**

Para identificar aproximadamente las grasas comestibles utilizadas en el proceso de fritura de las papas, se aplicó un análisis de conglomerados basado en el método K-means, el cual, se fundamenta en una clasificación de varios grupos de acuerdo a la similitud que exista entre ellos, en este caso en la semejanza que existe entre sus composiciones respectivamente; método descrito anteriormente.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### Introducción

Una vez que se han llevado a cabo todos los experimentos mencionados en el capítulo anterior, se procede a la recolección de los resultados, los cuales se detallarán en el presente capítulo con la finalidad de mostrar cuales fueron los parámetros utilizados, que valores se obtuvieron y elaborar una discusión que nos permita la comparación de este trabajo con otras investigaciones realizadas.

#### 2.3. Extracción grasa

La extracción de la grasa en todas las muestras se realizó por triplicado, a continuación, en la tabla 3:1 y 3:2 se muestran sus resultados.

Tabla 3:1. Porcentaje de materia grasa en papas fritas expendidas en locales de comida rápida

Muestra	Tipo	Promedio grasa total (%)
Bar UDA	LCR	14
La veci	LCR	10
Mickey	LCR	7
La casa de la salchipapa	LCR	6
El cincuentazo	LCR	7
KFC	LCR	13
Burger King	LCR	14
McDonald's	LCR	17

Tabla 3:2. Porcentaje de materia grasa de papas fritas industriales

Muestra	Tipo	Promedio grasa total (%)
Patatas natural	Industrial	35
Patatas cebolla	Industrial	36
Patatas picante	Industrial	33
Patatas palito	Industrial	27
Rizadas natural	Industrial	39
Rizadas mayonesa	Industrial	39
Rizadas limon	Industrial	36
Rizadas pollo	Industrial	37
Rizadas cebolla	Industrial	32
Ruffles cebolla	Industrial	31
Ruffles natural	Industrial	34
Ruffles picante	Industrial	33
Ruffles twist	Industrial	30
Ruffles pollo	Industrial	31
Lays tocino	Industrial	27
Lays artesanas	Industrial	29
Lays natural	Industrial	33
Chipz cebolla	Industrial	34
Chipz natural	Industrial	33
Albricias azuayas	Industrial	31
Albricias azuayas palito	Industrial	26
La quiteña palito	Industrial	30
Flamingo	Industrial	43
Flamingo palito	Industrial	40
Papas extremas	Industrial	34
Supermaxi natural	Industrial	25
Supermaxi cebolla	Industrial	27
Pa´fritas pollo	Industrial	35
Pa´fritas casera	Industrial	36
Pa´fritas limon	Industrial	33
Pa´fritas parrillada	Industrial	36
Pa´fritas picante	Industrial	35
Pa´fritas cebolla	Industrial	34
Sarita cebolla	Industrial	34
Frituras natural	Industrial	37
Frituras cebolla	Industrial	39
Frituras picante	Industrial	34
Frituras palito	Industrial	43
Sra. San Alfonso	Artesanal	29
Sra. Catedral	Artesanal	37

La cantidad de grasa total presente en las papas expandidas en locales de comida rápida varía entre 6 y 17%. Se puede observar que en algunos de estos locales existe un mayor contenido de grasa, lo cual es posible por muchas razones entre ellas; puede ser la reutilización del aceite y el tiempo de fritura que por lo general son las principales causas (Marcano, Rosa, & Salinas, 2010).

Otra hipótesis que se puede tener, sobre el alto porcentaje de grasa que poseen las papas transnacionales y las del bar de la UDA, es que debido a la utilización de papas congeladas, aumenta el contenido de grasa porque estas papas son tratadas químicamente antes de ser congeladas, es decir, que son peladas con tratamientos químicos, lo que provoca un aumento de la porosidad de su superficie y por lo tanto una mayor capacidad de absorción de aceite en el momento de la fritura como lo indican Marcano, Rosa y Salinas (2010).

En cuanto a la grasa total presente en las industriales varía entre 25 y 43%. Esto se debe a que la relación superficie volumen de las papas industriales es alto, lo cual permite una mayor absorción del aceite; además, existen muchas otras causas que aumentan la capacidad de absorción del aceite de las papas como es la temperatura del aceite, el tipo de papa utilizada, su porosidad, entre otros (Ziaifar, 2009) sin embargo por falta de conocimiento sobre el proceso de fritura que se lleva a cabo en cada empresa, muy probablemente en este caso el grosor de la papa es el factor de mayor relevancia para la absorción de grasa.

#### **2.4. Porcentaje de AGT presentes en las muestras**

Una vez obtenida la grasa de las muestras, ésta se colocó en el espectrofotómetro infrarrojo, el cual proporcionó cada uno de los espectros que posteriormente gracias al programa OMNIC y la aplicación del modelo de Sherazi, se pudieron obtener los porcentajes de AGT en cada una de las muestras, en total se realizaron 38 muestras de papas industriales y 10 papas artesanales cada una por triplicado dando un total de 144 muestras; resultados que se indican en la tabla 3:3 y 3:4.

Tabla 3:3. Porcentaje de AGT en papas fritas de expendio en locales de comida rápida

Muestra	Tipo	Promedio AGT en 100g de grasa (%)
Bar UDA	LCR	4.2
La veci	LCR	4.1
Mickey	LCR	2.5
La casa de la salchipapa	LCR	2
El cincuentazo	LCR	1.7
KFC	LCR	1
Burger King	LCR	1.8
McDonald's	LCR	3.9

Tabla 3:4. Porcentaje de AGT en papas fritas industriales

Muestra	Tipo	Promedio AGT en 100g de grasa (%)
Patatas natural	Industrial	2.6
Patatas cebolla	Industrial	3.6
Patatas picante	Industrial	3.1
Patatas palito	Industrial	1.8
Rizadas natural	Industrial	1.6
Rizadas mayonesa	Industrial	3.4
Rizadas limón	Industrial	2
Rizadas pollo	Industrial	2.9
Rizadas cebolla	Industrial	1.4
Ruffles cebolla	Industrial	2.4
Ruffles natural	Industrial	2.1
Ruffles picante	Industrial	2.1
Ruffles twist	Industrial	1.8
Ruffles pollo	Industrial	2.2
Lays tocino	Industrial	1.8
Lays artesanas	Industrial	2.1
Lays natural	Industrial	1.7
Chipz cebolla	Industrial	2.1
Chipz natural	Industrial	2.8
Albricias azuayas	Industrial	2.9
Albricias azuayas palito	Industrial	3.1
La quiteña palito	Industrial	3
Flamingo	Industrial	2.7
Flamingo palito	Industrial	1.7
Papas extremas	Industrial	1.7
Supermaxi natural	Industrial	1.6
Supermaxi cebolla	Industrial	1.4
Pa'fritas pollo	Industrial	2.1
Pa'fritas casera	Industrial	2.4
Pa'fritas limón	Industrial	2.4
Pa'fritas parrillada	Industrial	2.2
Pa'fritas picante	Industrial	2.2
Pa'fritas cebolla	Industrial	1.9
Sarita cebolla	Industrial	1.5
Frituras neutral	Industrial	2
Frituras cebolla	Industrial	2.3
Frituras picante	Industrial	2.5
Frituras palito	Industrial	2.9
Sra. San Alfonso	Artesanal	2.2
Sra. Catedral	Artesanal	5.7

De acuerdo a los datos obtenidos de 8 papas expendidas en locales de comida rápida y 40 papas industriales, se puede notar que la cantidad de AGT presentes en las papas expendidas en locas de comida rápida varían entre el 1.0 y 5.7%, de estas el 50% tienen una cantidad mayor al 2%; en las papas industriales por su lado presentan valores entre 1.4 y 3.9% de las cuales el 65% de las muestras tienen más de 2% de AGT.

Comparando estos resultados con estudios realizados a nivel nacional e internacional, se observa una discrepancia con una tesis realizada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) mediante cromatografía de gases; en la cual Guzmán (2011) indica que, en las papas fritas de expendio en locales de comida rápida transnacionales y nacionales, la cantidad de ácidos grasos trans es nula; mientras que en nuestro estudio la cantidad de grasas trans excede al 2% a excepción de KFC y Burger King; en otro estudio realizado en Turquía por cromatografía de gases, la cantidad de AGT presentes en papas fritas de locales comerciales también excede del 2% (Yildirim, Toker, Karaman, Kayacier, & Dogan, 2015); mientras que en un estudio realizado en Singapur mediante la aplicación de espectroscopía FTIR indican resultados del 1% (Chand, Lako, Prasad, & Sotheswaram, 2011); todos estos datos son únicamente aproximativos, pues, es imposible asegurar una razón por la cual los datos son muy irregulares, existen muchas hipótesis como el método de análisis aplicado, la calidad de aceites empleados y una gran influencia de factores sociales de cada país.

Con relación a las papas de tipo chips, la identificación de AGT es diversa. En Reino Unido se indica que en las papas de tipo chips existe un 2.05% de AGT (Roe, y otros, 2012), en España se determinó que la cantidad de AGT en papas fritas y en otros alimentos es nula (Pérez-Farinós, Saavedra, & Villalba, 2015) estos estudios fueron realizados mediante cromatografía de gases; mientras que en un estudio realizado en Tailandia por espectroscopia FTIR, existe un 0.04% de AGT en papas tipo chips (Suwannakood, Patarapanich, & Tongyonk, 2012).

Por otra parte, se han realizados estudios comparativos entre cromatografía de gases y espectroscopía FTIR en cuanto a la determinación de ácidos grasos trans e indican que la espectroscopía es un método mucho más rápido, es confiable y, además permite obtener una amplia información acerca de la grasa, sobre todo del perfil de ácidos grasos presentes en el producto (Azizian, Kramer, Kamalian, Hernandez, Mossoba, & Winsborough, 2004).

#### **2.4.2. Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas y eventuales grupos de grasas comestibles utilizados en el proceso de fritura.**

Para la determinación del perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas, se aplicó los modelos desarrollados en matlab, de esta manera se fue clasificando las longitudes de onda de cada muestra de acuerdo a los ácidos grasos propuestos, entre ellos: mirístico, esteárico, palmítico, linoleico, linolénico, oleico y láurico; se hizo un promedio de la cantidad de estos ácidos grasos presentes en todas las muestras y se indican en la tabla 3:5 y 3:6.

Tabla 3:5 Perfil de ácidos grasos presentes en papas fritas de expendio en locales de comida rápida

Muestra	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Miristico	Laurico
Burger king	57.9	3.0	2.1	18.9	18.0	0.1	0
McDonalds	52.5	1.5	0	24.8	21.0	0	0.2
KFC	54.1	0	2.1	27.5	16.3	0	0
La veci	58.8	3.9	1.0	22.3	13.6	0.3	0.1
El cincuentazo	58.8	2.8	1.7	17.8	19.0	0	0
Bar UDA	48.4	1.6	0.9	29.9	18.4	0.1	0.6
La casa de la salchipapa	58.6	3.5	3.1	18.6	16.2	0	0
El Mickey	55.2	6.2	1.1	29.1	7.9	0	0.5

Tabla 3:6 Perfil de ácidos grasos presentes en papas fritas industriales

Muestra	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Mirístico	Laurico
Patatas natural	55.7	3.5	2	24.7	14.0	0	0.1
Patatas cebolla	43.5	2.7	1	33.2	17.3	0.9	1.4
Patatas picante	49.2	8.3	1.4	25.7	13.6	1.0	0.8
Patatas palito	57.1	3.4	1.4	19.7	18.1	0.1	0.1
Rizadas natural	57.2	4.5	1.8	22.1	14.0	0.3	0.1
Rizadas mayonesa	47.9	3.2	1.1	34.1	12.9	0	0.7
Rizadas limon	60.2	5.4	2.1	19.6	12.7	0	0
Rizadas pollo	57.2	2	2.1	23.1	15.6	0	0
Rizadas cebolla	60.1	11	1.8	20.5	6.6	0	0
Ruffles cebolla	49.7	0.2	2.3	30.6	16.4	0.2	0.6
Ruffles natural	48.1	1.1	2.7	32.2	15.0	0.3	0.6
Ruffles picante	47.5	5.4	2.7	30.5	12.9	0.3	0.7
Ruffles twist	59.6	5.2	4.2	21.5	9.5	0	0
Ruffles pollo	58.5	6.0	3.5	20.3	11.8	0	0
Lays tocino	59.3	0.8	2.9	20.7	16.2	0	0
Lays artesanas	48.5	6.8	2.9	32.4	8.9	0	0.5
Lays natural	60.5	1.8	2.9	19.5	15.3	0	0
Chipz cebolla	55.9	0	2.5	22.6	19.1	0	0
Chipz natural	58.2	2.0	1.9	22.5	15.1	0	0.2
Albricias azuayas	56.4	0.6	1.2	21.0	20.8	0	0
Albricias azuayas palito	57.3	0.1	0.8	23.9	17.8	0	0.1
La quiteña palito	56.6	0	1	22.4	20.1	0	0
Flamingo	57.0	0	2	21.1	19.9	0	0
Flamingo palito	56.8	0	2.8	20.8	19.6	0	0
Papas extremas	57.9	2	1.8	25.8	12.3	0	0.2
Supermaxi natural	57.6	0	2.1	22.2	18.1	0	0
Supermaxi cebolla	55.2	7.4	1.8	23.7	11.9	0	0
Pa'fritas pollo	60.2	5.4	3.1	18.6	12.5	0.2	0
Pa'fritas casera	60.0	5.6	2.1	19.6	12.7	0	0
Pa'fritas limon	60.6	1.7	2.4	20.0	15.2	0	0
Pa'fritas parrillada	59.5	3.6	3	19.6	14.3	0	0
Pa'fritas picante	59.3	1.7	2.7	20.1	16.3	0	0
Pa'fritas cebolla	56.9	5.4	2.6	19.1	14.8	1.2	0
Sarita cebolla	61.6	7.3	1.2	17.9	11.7	0.2	0
Frituras natural	55.1	0	1.6	22.6	20.7	0	0
Frituras cebolla	59.3	4.3	1.2	14.1	21.2	0	0
Frituras picante	56.5	0	1.3	21.7	20.4	0	0
Frituras palito	54.6	3.5	0	21.5	20.4	0	0
Sra. San Alfonso	59.5	1.4	1.3	20.1	17.6	0	0
Sra. Catedral	48.4	0.9	0	32.8	16.6	0.2	1

Por otra parte, para identificar el grupo de grasas comestibles se aplicó el análisis de conglomerados a partir de la unión de las tablas 3:5 y 3:6; además, tomando en cuenta la composición de ácidos grasos que presentaron las muestras de papas fritas, se le añadió la composición que indica United States Department of Agriculture (USDA) del aceite de palma, oleína de palma, aceite de soya, el aceite de canola, aceite de maíz, manteca vegetal y manteca de cerdo (USDA, 2015); de esta manera se agruparon las muestras y se identificó aproximadamente cuales son los grupos de grasas comestibles utilizados en la fritura indicados en el anexo 1 y 2.

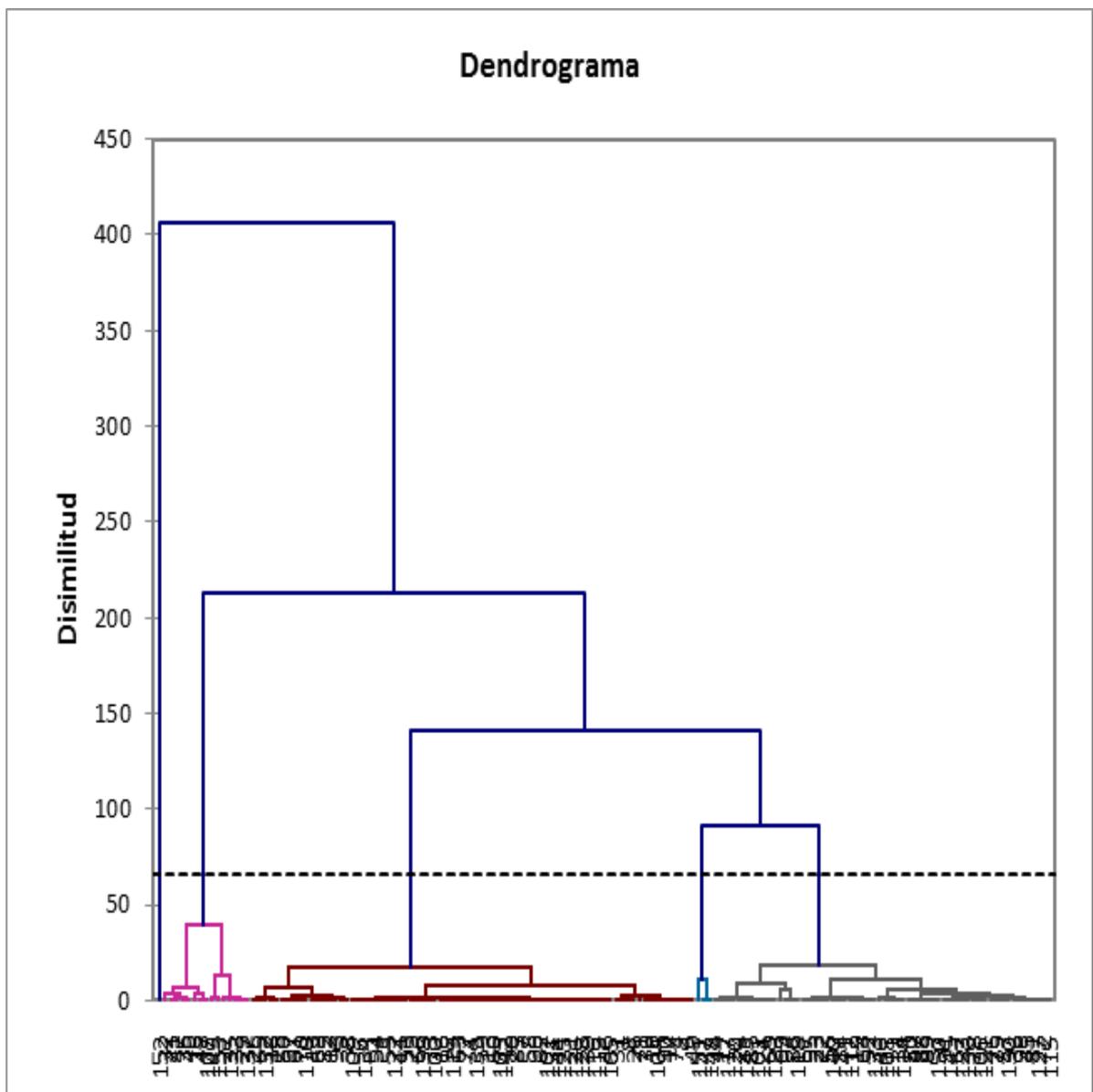


Figura 3-1 Dendrograma

En los resultados del gráfico 2, se puede observar que existen 5 grupos, 4 de ellos bien diferenciados y el quinto es un grupo pequeño al que pertenece únicamente la manteca vegetal, para identificar de mejor manera estos grupos se elaboró la tabla 3:7, 3:8, 3:9 y 3:10 con las muestras correspondientes a cada grupo.

Tabla 3:7 Conglomerado grupo 1

No	Muestras	No	Muestras
1	Azuayas Natural 1 MI	63	Pa fritas picante 2 MI
2	Azuayas Palito 1	65	Papas catedral 2 MI
3	Burger king 1 MI	66	Papas cincuentazo 2 MI
4	Chipz cebolla 1 MI	68	Papas KFC 2 MI
5	Chipz natural 1 MI	70	Papas la veci 2 MI
6	Flamingo natural 1 MI	71	Papas McDonalds 2 MI
7	Flamingo palito 1 MI	73	Papas san alfonso 2 MI
8	Frituras cebolla 1 MI	74	Papas uDA 2 MI
9	Frituras natural 1 MI	75	Patatas cebolla 2 MI
10	Frituras palito 1 MI	77	Patatas palito 2 MI
11	Frituras picante 1 MI	82	Rizadas pollo 2 MI
12	KFC 1 MI	83	Ruffles cebolla 2 MI
13	La casa salchipapa 1 MI	90	Azuayas natural 3 MI
14	La quiteña palito 1 MI	92	Chipz natural 3 MI
16	Lays natural 1 MI	93	KFC 3 MI
18	McDonalds 1 MI	96	Lays sabor tocino 3 MI
20	Pa fritas cebolla 1 MI	97	McDonalds 3 MI
21	Pa fritas limon 1 MI	100	Pa fritas limon 3 MI
25	Papas catedral 1 MI	102	Pa fritas picante 3 MI
26	Papas cincuentazo 1 MI	103	Pa fritas pollo 3 MI
28	Papas la veci 1 MI	104	Papas catedral 3 MI
30	Papas san alfonso 1 MI	105	Papas extremas 3 MI
31	Papas UDA 1 MI	109	Patatas natural 3 MI
38	Rizadas natural 1 MI	110	Patatas palito 3 MI
39	Rizadas pollo 1 MI	113	Rizadas mayonesa 3 MI
43	Ruffles pollo 1 MI	116	Ruffles cebolla 3 MI
46	Super natural 1 MI	119	Ruffles pollo 3 MI
49	Azuayas natural 2 MI	122	Azuayas natural 4 MI
50	Azuayas palito 2 MI	125	Lays natural 4 MI
51	Burger king 2 MI	126	Lays tocino 4 MI
53	Flamingo natural 2 MI	128	Pa fritas parrillada 4 MI
54	Frituras natural 2 MI	131	Papas extremas 4 MI
55	La quiteña palito 2 MI	132	Patatas cebolla 4 MI
58	Lays sabor tocino 2 MI	134	Patatas palito 4 MI
59	Pa fritas casera 2 MI	138	Rizadas natural 4 MI
60	Pa fritas cebolla 2 MI	139	Rizadas pollo 4 MI
61	Pa fritas limon 2 MI	142	Ruffles picante 4 MI
62	Pa fritas parrillada 2 MI	144	Ruffles twist 4 MI

Tabla 3:8 Conglomerado grupo 2

No	Muestras
15	Lays artesanas 1 MI
27	Papas extremas 1 MI
29	Papas mickey 1 MI
32	Patatas cebolla1 MI
33	Patatas natural1 MI
35	Patatas picante 1 MI
40	Ruffles cebolla 1 MI
41	Ruffles natural 1 MI
42	Ruffles picante 1 MI
48	Yupi mayonesa 1 MI
107	Papas UDA 3 MI
135	Patatas picante 4 MI
137	Rizadas mayonesa 4 MI
149	Aceite de soya
153	Aceite de maiz

Tabla 3:9 Conglomerado grupo 3

No	Muestras	No	Muestras
17	Lays sabor tocino 1 MI	91	Burger king 3 MI
19	Pa fritas casera 1 MI	94	Lays artesanas 3 MI
22	Pa fritas parrillada 1 MI	95	Lays naturales 3 MI
23	Pa fritas picante 1 MI	98	Pa fritas casera 3 MI
24	Pa fritas pollo 1 MI	99	Pa fritas cebolla 3 MI
34	Patatas palito 1 MI	101	Pa fritas parrillada 3 MI
36	Rizadas cebolla1 MI	106	Papas la veci 3 MI
37	Rizadas limon 1 MI	108	Patatas cebolla 3 MI
44	Ruffles twist 1 MI	111	Patatas picante 3 MI
45	Sarita cebolla 1 MI	112	Rizadas limon 3 MI
47	Super cebolla 1 MI	114	Rizadas natural 3 MI
52	Chipz natural2 MI	115	Rizadas pollo 3 MI
56	Lays artesanas 2 MI	117	Ruffles natural 3 MI
57	Lays natural 2 MI	118	Ruffles picante 3 MI
64	Pa fritas pollo 2 MI	120	Ruffles twist 3 MI
67	Papas extremas 2 MI	121	Sartia cebolla 3 MI
69	Papas la casa salchipapa 2 MI	123	Chipz natural 4 MI
72	Papas Mickey 2 MI	124	Lays artesanas 4 MI
76	Patatas natural2 MI	127	Pa fritas casera 4 MI
78	Patatas picante 2 MI	129	Pa fritas limon 4 MI
79	Rizadas limon 2 MI	130	Pa fritas pollo 4 MI
80	Rizadas mayonesa 2 MI	133	Patatas natural 4 MI
81	Rizadas natural 2 MI	136	Rizadas limon 4 MI
84	Ruffles natural 2 MI	140	Ruffles cebolla 4 MI
85	Ruffles picante 2 MI	141	Ruffles natural 4 MI
86	Ruffles pollo 2 MI	143	Ruffles pollo 4 MI
87	ruffles twist 2 MI	145	Patatas picante rojo 5 MI
88	Sarita cebolla 2 MI	146	Patatas picante menos rojo 5 MI
89	Super cebolla 2 MI	150	Aceite de canola

Tabla 3:10 Conglomerado grupo 4 y 5

No	Muestras	Grupo
147	Aceite de palma	4
148	Oleína de palma	4
150	Manteca de chanco	4
152	Manteca vegetal	5

De los resultados obtenidos, se puede observar que la cantidad de ácido oleico en las muestras de papas expandidas en locales de comida rápida varía entre 48.4 y 58.8%; esteárico entre 0 y 3.1%; palmítico entre 0 y 6.2%; linoleico 17.8 y 29.9%; linolénico entre 7.9 y 21%; mirístico entre 0 y 0.3% y finalmente láurico entre 0 y 0.6%; mientras que en las muestras de papas fritas industriales los resultados de oleico varían entre 43.5 y 61.6%; esteárico 0 y 3.5%; palmítico 0 y 11%; linoleico 14.1 y 34.1%; linolénico 6.6 y 21.2%; mirístico 0 y 1.2% y láurico 0 y 1.4%.

En comparación de los datos obtenidos con algunos estudios realizados por Guzmán 2011 en cromatografía de gases, se puede observar que existe una cierta discrepancia en relación a la cantidad de ácidos presentes en las papas de tipo chips, pues en cromatografía existe una mayor cantidad de ácido palmítico y esteárico; sin embargo los valores de láurico y mirístico son similares; por otro lado, en los resultados de las muestras de papas fritas de expendio en locales de comida rápida, la cantidad de ácido oleico, linoleico, mirístico y láurico obtenidos en el presente proyecto son muy parecidos al trabajo de Guzmán.

En cuanto a los conglomerados obtenidos; se puede observar que, de las 146 muestras analizadas, 76 se encuentran en el grupo 1; 13 en el grupo 2 y 57 en el grupo 3; mientras que en el grupo 4 se encuentra el aceite de palma, oleína de palma, manteca de cerdo y en el grupo 5 únicamente la manteca vegetal.

En cuanto a las papas industriales se puede ver una prevalencia sobre el grupo 1 y 3; observando que la composición de ácidos grasos de las muestras del grupo 3 se asemejan a la composición de un aceite de canola; sin embargo, esto no se puede asegurar, pues no existe un aceite de canola industrial que económicamente sea factible para este tipo de negocio; por otra parte las muestras de papas fritas industriales restantes se encuentran en el grupo 2; muestras que se asemejan a la composición de un aceite de maíz y aceite de soya, lo cual tampoco es totalmente cierto; sin embargo estos son datos aproximativos que nos ayuda con una idea de los aceites que se utilizaron en la fritura, pues existen muchos otros factores que intervienen en esta composición como es el tiempo de fritura, la reutilización del aceite, etc.

## CONCLUSIONES

- Se determinó la cantidad de ácidos grasos trans mediante espectroscopía infrarroja y se concluye que, de las 15 marcas industriales analizadas, 11 de ellas no cumplen con el acuerdo ministerial; mientras de los 8 locales de comida rápida 4 de ellos cumplen incluido las transnacionales Burger King y KFC; lo que nos indica que existe una menor cantidad de AGT en papas fritas tipo bastón, lo que puede deberse a que la superficie de contacto, al ser más gruesas evitan la absorción de mayor cantidad de aceite.
- En cuanto a la cantidad de grasa total presente en las muestras, se puede observar que todas las marcas de papas fritas industriales cumplen con la Norma INEN 2561:2010, mientras que para las papas fritas expendidas en locales de comida rápida no existe una norma específica; no obstante, los valores de grasa son muy bajos con respecto a las industriales debido al grosor de las mismas; factor muy importante para la absorción de aceite en el momento de la fritura.
- El perfil de AG obtenido indica que los ácidos grasos oleico (56%), linoleico (23%) y linolénico (16%) están presente en mayor porcentaje, lo que indica que no se puede identificar desde la grasa extraída de las papas fritas el tipo de aceite se utilizó para realizar la fritura, pues todos estos son AG insaturados, y por lo general se utilizan aceites económicos, generalmente de palma, para realizar las frituras que su composición mayoritaria es ácido palmítico que saturado; sin embargo de acuerdo a la composición de papas fritas que presenta la USDA concuerda con los datos obtenidos en el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abril, N., Bárcena, J. A., Fernández, E., Galván, A., Jorrín, J., Peinado, J., y otros. (2008). Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Universitario de Rabanales*.
- Acuerdo Ministerial No 4439. (25 de Octubre de 2013). Ministerio de Salud Publica. Quito.
- Álvarez, G., Sánchez, V., Rosales, L., Suárez, C. D., Mata, A., Fernández, F., y otros. (2008). *Bioquímica Interactiva*. Obtenido de UNAM: <http://laguna.fmedic.unam.mx/~3dmolvis/lipido/index.html>
- Azizian, H., Kramer, J. K., Kamalian, A. R., Hernandez, M., Mossoba, M. M., & Winsborough, S. L. (2004). Quantification of trans fatty acids in food products by GC, ATR-FTIR and FT-NIR methods. *Lipid Technology*,, 229-231.
- Badui, S. (2006). *Química de Alimentos*. Mexico: Pearson.
- Ballesteros, M. N., Valenzuela, L. S., Artalejo, E., & Robles, A. E. (2012). Ácidos grasos trans: un análisis del efecto de su consumo en la salud humana, regulación del contenido en alimentos y alternativas para disminuirlos. *Nutricion Hospitalaria*, 55.
- Benjumea, M. V., & García, C. E. (2010). Nutri-UCaldas. *Las grasas trans, un asunto de cuidado*.
- Blanco Chavez, I. Y., & Aymee Caballero, C. (2015). *PROPUESTA DE VALIDACION DEL METODO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE GRASAS TRANS EN MARGARINA*. Obtenido de Universidad del Salvador: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://ri.ues.edu.sv/7661/1/16103580.pdf>
- Bradley, M. (2002). *Attenuated Total Reflection*. Obtenido de Thermoscientific: <https://www.thermoscientific.com/content/tfs/en/about-us/general-landing-page/ftir-sampling-techniques-atr.html>
- Chand, B., Lako, J., Prasad, R., & Sotheswaram, S. (2011). Trans fatty acid content of selected foods in Fiji. *International Conference on Life Science and Technology*.
- Gálvez, G. (2016). *Identificación de ácidos graso, en grasas alimenticias expendidas en los supermercados de la ciudad de Cuenca, mediante espectroscopia infrarroja*. Ingeniera. Universidad del Azuay.
- García Cambronero, C., & Gómez Moreno, I. (2006). *Algoritmos de aprendizaje: KNN & KMEANS*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/06.pdf>
- Gimenez, Y. (23 de Marzo de 2010). *Clasificación no supervisada: El método de k-medias*. Obtenido de Universidad de Buenos Aires: [http://cms.dm.uba.ar/academico/carreras/licenciatura/tesis/2010/Gimenez\\_Yanina.pdf](http://cms.dm.uba.ar/academico/carreras/licenciatura/tesis/2010/Gimenez_Yanina.pdf)
- Gómez, R., & Murillo, R. (2006). *Espectroscopía Infrarroja*.
- Guzmán, A. (2011). *Perfil Lipídico y contenido de ácidos grasos trans en productos ecuatorianos de mayor consumo*. Licenciada. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de :

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3721/T-PUCE-3366.pdf?sequence=1>

- Lévy Mangin, J.-P., & Varela Mallou, J. (2006). *Modelización con estructuras de covarianzas en Ciencias Sociales: temas esenciales, avanzados y aportaciones especiales*. España: Netbiblo, S. L.
- Maglione, A. (2010). *Anécdotas, leyendas y recetas curiosas*. Obtenido de La Nación: <http://www.lanacion.com.ar/1278256-anecdotos-leyendas-y-recetas-curiosas>
- Marcano, J., Rosa, Y. L., & Salinas, N. (2010). Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo “french”, empleando oleina de palma. *GRASAS Y ACEITES*, 64.
- Minitab Inc. (2016). *Tipos de análisis de regresión*. Obtenido de Support.minitab: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/regression-and-correlation/basics/types-of-regression-analyses/>
- Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (1998). *Química Organica*. New York: Pearson.
- MSP. (Junio de 2011). *PROTOCOLOS CLÍNICOS Y TERAPÉUTICOS PARA LA ATENCIÓN DE LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRASMISIBLES (diabetes 1, diabetes 2, dislipidemias, hipertensión arterial)*. Obtenido de IESS: [https://www.iess.gob.ec/documents/10162/51880/Protocolos\\_ECNT\\_01\\_de\\_junio\\_2011\\_v.pdf](https://www.iess.gob.ec/documents/10162/51880/Protocolos_ECNT_01_de_junio_2011_v.pdf)
- Navas, P. B., Ledezma, J. C., & Martínez, S. (2015). Características sensoriales de papas tipo bastón fritas en aceites condimentados. *Saber*, 286-292.
- Norma INEN 1334.2:2011. (2011). *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Rotulado nutricional. Requisitos*. Obtenido de Normas INEN: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1334.2.2011.pdf>
- Norma INEN 2561:2010. (2010). *Bocaditos de productos vegetales. Requisitos*. Obtenido de Normas INEN: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2561.pdf>
- OMS. (Enero de 2015). *Enfermedades no transmisibles*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/es/>
- OPS. (2008). *Las Américas Libres de Ácidos Grasos Trans Declaración de Río de Janeiro*. Obtenido de Río de Janeiro: Organización Panamericana para la Salud.
- Páez, F. (4 de Agosto de 2014). *Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier*. Obtenido de Noria Latin America: <http://noria.mx/lublearn/espectrometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier/>
- Pedreschi, F., & Aguilera, J. (2002). Some changes in potato chips during frying observed by confocal laser scanning microscopy (CLSM). *Food Sci Technol*, 1-5.
- Pérez-Farinós, N., Saavedra, M. Á., & Villalba, C. V. (2015). *Contenido de ácidos grasos trans en los alimentos en España*. Obtenido de [http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/Informe\\_AGT2015.pdf](http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/Informe_AGT2015.pdf)
- PerkinElmer. (2005). *FT-IR Spectroscopy Attenuated Total Reflectance (ATR)*. Obtenido de PerkinElmer: [https://shop.perkinelmer.com/content/TechnicalInfo/TCH\\_FTIRATR.pdf](https://shop.perkinelmer.com/content/TechnicalInfo/TCH_FTIRATR.pdf)

- Roe, M., Pinchen, H., Church, S., Elahi, S., Walker, M., Farron-Wilson, M., y otros. (2012). Trans fatty acids in a range of UK processed foods. *Food Chemistry*.
- Rosales, G. (2011). *Fundamentos y Aplicaciones de la Espectroscopia Infrarroja*. Obtenido de Espectroscopia en la Industria del Petroleo: <http://pq-311-organica.blogspot.com/2011/06/fundamentos-y-aplicaciones-de-la.html>
- Salvador Figueroa, M. (2001). *Analisis de conglomerados o cluster*. Obtenido de Ciberconta.unizar: <http://ciberconta.unizar.es/leccion/cluster/inicio.html>
- Sánchez, A. (2007). Grasas Trans Qué son? Cómo nos dañan? *Alimentación y Nutrición*.
- Sancho Caparrini, F. (2009). Aplicacion K-means. *Magazine Theme for PivotX*.
- Schrader, B. (1995). *Infrared and Raman Spectroscopy*. New York.
- Serrano Martínez, J. (s.f.). *ESPECTROSCOPIA INFRARROJA 1-Fundamentos*. Obtenido de UPCT: [http://www.upct.es/~minaees/espectroscopia\\_infrarroja.pdf](http://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf)
- Serrano, N., & Lara, J. H. (2008). *Factibilidad para la creacion de una fabrica de papas fritas en el municipio de Barrancabermeja*. Obtenido de Universidad Industrial de Santander: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/11258/2/128920.pdf>
- Sherazi, S., Kandhro, A., Mahesar, S., Bhangar, M., Talpur, M. Y., & Arain, S. (2008). Application of transmission FT-IR spectroscopy for the trans fat determination in the industrially processed edible oils. *Food Chemistry*.
- Signy, H., & Rivera, N. (2015). *Acidos grasos trans*. Obtenido de Colegio de farmacéuticos de Tucumán: [http://www.cofatuc.org.ar/ap\\_acidos\\_grasos\\_trans.php](http://www.cofatuc.org.ar/ap_acidos_grasos_trans.php)
- Suwannakood, W., Patarapanich, C., & Tongyonk, L. (2012). ANALYSIS OF TRANS FATTY ACID CONTENT IN SNACKS AND NON-DAIRY CREAMERS BY ATTENUATED TOTAL REFLECTION FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY. *J Health Res*.
- Todeschini, R. (2003). *Introduzione alla Chemiometria*. Napoli: EdISES.
- Trinchero, J., Monti, M., & Ceroli, P. (2007). Características sensoriales de papas fritas en bastones. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 33-40.
- USDA. (2015). *United States Department of Agriculture*. Obtenido de Food Composition Databases: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list?qlookup=21138>
- Valdunciel, J. M. (s.f.). *Metodos de valoracion para las patatas*. Obtenido de INIA: <http://wwwsp.inia.es/Investigacion/OtrasUni/DTEVPF/Unidades/CentrosEnsayo/EstacionEnsayos/Documents/M%C3%A9todospatata.pdf>
- Valenzuela, A. (2008). ÁCIDOS GRASOS CON ISOMERÍA TRANS I. SU ORIGEN Y LOS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA. *Revista chilena de nutricion*, 162-171.
- Voet, D., & Voet, J. G. (2006). *Bioquímica*. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana.
- Yépez, R. (2004). *Bioquímica Médica*. Quito: Arco Iris produccion gráfica.
- Yildirim, E., Toker, Ö. S., Karaman, S., Kayacier, A., & Dogan, M. (2015). Investigation of fatty acid composition and trans fatty acid formation in extracted oils from French-

fried potatoes and classification of samples using chemometric approaches. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 80-90.

Ziaifar, A.-M. (2009). *Oil absorption during deep-fat frying: mechanisms and important factors*. Obtenido de Engineering Sciences [physics]: <https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00003693/document>

## ANEXOS

## Anexo 1 Perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de papas fritas

No	Muestras	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Miristico	Laurico
1	Azuayas Natural 1 MI	60.4	1.8	1	16.9	20	0	0
2	Azuayas Palito 1	55.0	0	1	25.3	18.7	0	0
3	Burger king 1 MI	55.4	0	1.8	22.8	20	0	0
4	Chipz cebolla1 MI	55.9	0	2.5	22.6	19.1	0	0
5	Chipz natural 1 MI	51.4	0	0.7	36.5	10.5	0	0.8
6	Flamingo natural 1 MI	56.3	0	2.4	20.7	20.6	0	0
7	Flamingo palito1 MI	56.8	0	2.8	20.8	19.6	0	0
8	Frituras cebolla1 MI	59.3	4.3	1.2	14.1	21.2	0	0
9	Frituras natural1 MI	53.9	0.0	1	24.9	20.1	0	0
10	Frituras palito1 MI	54.6	3.5	0	21.5	20.4	0	0
11	Frituras picante1 MI	56.5	0	1.3	21.7	20.4	0	0
12	KFC 1 MI	53.5	0	1.8	28.5	16.2	0	0
13	La casa salchipapa 1 MI	57.3	0	2.3	20.7	19.7	0	0
14	La quiteña palito 1 MI	57.6	0	0	22.8	19.7	0	0
15	Lays artesanas 1 MI	15.8	0	0	73.9	8.4	0	1.8
16	Lays natural 1 MI	57.2	0	2.5	21.4	19	0	0
17	Lays sabor tocino 1 MI	63.7	3.2	4	20	9	0	0
18	McDonalds 1 MI	51.2	0	0	29.2	19.6	0	0
19	Pa fritas casera 1 MI	62.4	1.2	2.4	19.2	14.7	0	0
20	Pa fritas cebolla 1 MI	57.2	0	2.9	21.3	18.5	0	0
21	Pa fritas limon 1 MI	59.5	0	2.6	20.3	17.5	0	0
22	Pa fritas parrillada 1 MI	61.8	7.1	2.9	16	12.2	0	0
23	Pa fritas picante 1 MI	62.5	5.1	2.6	18.3	11.5	0	0
24	Pa fritas pollo 1 MI	64.6	7.9	3.7	17.6	6.3	0	0
25	Papas catedral 1 MI	43.9	0.2	0	38.1	15.6	0.6	1.6
26	Papas cincuentazo 1 MI	56.8	5.7	1.1	16.6	19.8	0	0
27	Papas extremas 1 MI	52.2	0	0	46.6	0.4	0	0.8
28	Papas la veci 1 MI	49.3	0	0	33.8	16.7	0	0.2
29	Papas mickey 1 MI	49.1	3.5	0	40.2	6.2	0	1
30	Papas san alfonso 1 MI	57.1	2.8	1.1	21.2	17.8	0	0
31	Papas UDA 1 MI	55.1	4.8	2.3	13.9	23.7	0.2	0
32	Patatas cebolla1 MI	15.4	0	0	56.3	21.1	3.7	3.4
33	Patatas natural1 MI	48.6	0	0	43.9	7	0	0.4
34	Patatas palito 1 MI	53.2	11	0	17.7	17.1	0.6	0.4
35	Patatas picante 1 MI	21.5	0	0	60.7	16	0	1.8
36	Rizadas cebolla1 MI	60.1	11	1.8	20.5	6.6	0	0
37	Rizadas limon 1 MI	57.1	5	1.7	26	10.3	0	0
38	Rizadas natural 1 MI	56.0	0	1.6	31.1	11.4	0	0
39	Rizadas pollo 1 MI	57.9	0	2.6	22.1	17.4	0	0
40	Ruffles cebolla 1 MI	22.7	0.7	0	56.6	16.7	1.0	2.3
41	Ruffles natural 1 MI	16.1	0	0	59.5	20.5	1.4	2.5
42	Ruffles picante 1 MI	15.5	0	0	60.5	20.3	1.2	2.5
43	Ruffles pollo 1 MI	56.1	0	1.9	25.4	16.6	0	0
44	Ruffles twist 1 MI	60.7	5	5.5	23.5	5.3	0	0
45	Sarita cebolla 1 MI	64.0	8.4	1.1	16.2	10.3	0	0
46	Super natural 1 MI	57.6	0	2.1	22.2	18.1	0	0
47	Super cebolla 1 MI	55.6	5.3	2	24.1	13	0	0.1
48	Yupi mayonesa 1 MI	27.9	0	0	57	13.4	0	1.7
49	Azuayas natural 2 MI	54.0	0	0.9	24.6	20.5	0	0
50	Azuayas palito 2 MI	59.6	0.3	0.5	22.5	16.9	0	0.1
51	Burger king 2 MI	56.3	0	2.1	21.2	20.5	0	0

No	Muestras	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Miristico	Laurico
52	Chipz natural2 MI	63.4	2.2	2.2	16	16.1	0	0
53	Flamingo natural 2 MI	57.7	0	1.6	21.5	19.2	0	0
54	Frituras natural2 MI	56.3	0	2.2	20.2	21.2	0	0
55	La quiteña palito 2 MI	55.6	0	1.9	22	20.5	0	0
56	Lays artesanas 2 MI	60.7	6.1	3.2	18.1	11.9	0	0
57	Lays natural 2 MI	62.3	3.6	2.9	17.9	13.3	0	0
58	Lays sabor tocino 2 MI	57.2	0	2.7	20.5	19.6	0	0
59	Pa fritas casera 2 MI	56.9	0	2.2	21.6	19.3	0	0
60	Pa fritas cebolla 2 MI	56.4	0	2.4	21.3	20	0	0
61	Pa fritas limon 2 MI	61.5	0.2	1.3	22.7	14.2	0	0
62	Pa fritas parrillada 2 MI	58.3	0	2.8	19.9	19	0	0
63	Pa fritas picante 2 MI	57.5	0	2.5	21.6	18.5	0	0
64	Pa fritas pollo 2 MI	61.1	2.5	2.7	19.5	14.2	0	0
65	Papas catedral 2 MI	46.2	0	0	36.8	15.5	0	1.5
66	Papas cincuentazo 2 MI	60.7	0	2.2	19	18.1	0	0
67	Papas extremas 2 MI	60.9	8.2	1.5	16.2	13.2	0	0
68	Papas KFC 2 MI	55.2	0	2.3	25.4	17.1	0	0
69	Papas la casa salchipapa 2 MI	60.0	7	3.9	16.5	12.7	0	0
70	Papas la veci 2 MI	60.4	3.1	1.1	20.8	14.6	0	0
71	Papas McDonalds 2 MI	45.9	4.6	0	22.8	26.3	0	0.5
72	Papas Mickey 2 MI	61.3	8.9	2.3	18	9.5	0	0
73	Papas san alfonso 2 MI	61.9	0	1.5	19.1	17.5	0	0
74	Papas uDA 2 MI	55.7	0	0.5	23.3	20.5	0	0
75	Patatas cebolla2 MI	60.8	0	1.9	19.6	17.6	0	0
76	Patatas natural2 MI	55.2	10.2	3.1	18.5	13	0	0
77	Patatas palito 2 MI	58.1	0	2.3	21	18.5	0	0
78	Patatas picante 2 MI	58.4	12.5	1	14.9	12.2	0.7	0.3
79	Rizadas limon 2 MI	59.0	8.6	2.7	17	12.6	0	0.2
80	Rizadas mayonesa 2 MI	57.1	6.7	2.1	19.9	14.2	0	0
81	Rizadas natural 2 MI	59.7	8.5	1.9	19.2	10.7	0	0
82	Rizadas pollo 2 MI	53.0	0	1.2	29	16.8	0	0
83	Ruffles cebolla 2 MI	57.5	0	3	21.2	18.3	0	0
84	Ruffles natural 2 MI	58.5	0	3	23	15.4	0	0
85	Ruffles picante 2 MI	59.6	7.8	2.9	20.5	9.2	0	0
86	Ruffles pollo 2 MI	56.9	16.1	5	18.4	3.5	0	0.1
87	ruffles twist 2 MI	58.1	12.2	3.3	17.9	8.5	0	0
88	Sarita cebolla 2 MI	57.2	5.3	1	23	13.6	0	0
89	Super cebolla 2 MI	54.9	9.5	1.6	23.3	10.7	0	0
90	Azuayas natural 3 MI	52.7	0.7	1.3	23	22.3	0	0
91	Burger king 3 MI	62.0	9	2.4	12.7	13.7	0	0
92	Chipz natural 3 MI	57.4	0	2.5	20.9	19.2	0	0
93	KFC 3 MI	53.7	0	2.1	28.4	15.7	0	0
94	Lays artesanas 3 MI	59.0	14	4.4	16.6	6	0	0
95	Lays naturales 3 MI	63.4	3.7	3.5	17.6	11.8	0	0
96	Lays sabor tocino 3 MI	57.1	0	2.7	21	19.3	0	0
97	McDonalds 3 MI	60.4	0	0	22.5	17	0	0
98	Pa fritas casera 3 MI	60.5	11.6	2	19.4	6.5	0	0
99	Pa fritas cebolla 3 MI	57.0	16.3	2.6	14.6	5.8	3.6	0.1
100	Pa fritas limon 3 MI	61.3	0	1.3	18.4	19	0	0
101	Pa fritas parrillada 3 MI	60.1	7.2	3.7	20.6	8.4	0	0
102	Pa fritas picante 3 MI	57.8	0	3	20.4	18.8	0	0

No	Muestras	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Miristico	Laurico
103	Pa fritas pollo 3 MI	57.7	0	3	21.3	17.9	0	0
104	Papas catedral 3 MI	55.2	2.4	0	23.5	18.9	0	0
105	Papas extremas 3 MI	57.9	0	2.3	22.4	17.4	0	0
106	Papas la veci 3 MI	66.8	8.6	1.9	12.4	9.4	1.0	0
107	Papas UDA 3 MI	34.5	0	0	52.6	11.1	0	1.9
108	Patatas cebolla 3 MI	53.0	10.8	2.2	17.9	15.4	0	0.6
109	Patatas natural 3 MI	57.9	0	2.5	19	20.7	0	0
110	Patatas palito 3 MI	60.9	2.8	0.7	19.5	16.1	0	0
111	Patatas picante 3 MI	54.0	10.4	2.8	14.4	16.8	0.9	0.7
112	Rizadas limon 3 MI	63.4	1.7	2.8	18.8	13.4	0	0
113	Rizadas mayonesa 3 MI	58.8	0.8	2.2	20.9	17.3	0	0
114	Rizadas natural 3 MI	53.4	9.4	1.5	18.3	15.7	1.3	0.5
115	Rizadas pollo 3 MI	61.4	8.1	2.1	19.4	9	0	0
116	Ruffles cebolla 3 MI	57.9	0	2.6	22.3	17.2	0	0
117	Ruffles natural 3 MI	60.4	4.2	4.2	23	8.2	0	0
118	Ruffles picante 3 MI	57.6	13.6	5	19.6	3.8	0	0.3
119	Ruffles pollo 3 MI	57.7	0	2.4	21	18.9	0	0
120	Ruffles twist 3 MI	60.8	3.5	4.6	23.9	7.2	0	0
121	Sartia cebolla 3 MI	63.7	8.3	1.6	14.4	11.2	0.7	0.1
122	Azuayas natural 4 MI	58.6	0	1.5	19.6	20.3	0	0
123	Chipz natural 4 MI	60.6	5.9	2.2	16.6	14.6	0	0
124	Lays artesanas 4 MI	58.5	7.1	4	21.1	9.3	0	0
125	Lays natural 4 MI	59.3	0	2.9	20.9	16.9	0	0
126	Lays tocino 4 MI	59.1	0	2.5	21.4	17	0	0
127	Pa fritas casera 4 MI	60.3	9.5	1.8	18.1	10.3	0	0
128	Pa fritas parrilada 4 MI	57.7	0	2.6	22	17.7	0	0
129	Pa fritas limon 4 MI	60.1	6.5	4.6	18.8	10.1	0	0
130	Pa fritas pollo 4 MI	57.4	11.4	3	15.8	11.4	0.9	0
131	Papas extremas 4 MI	60.7	0	3.3	18	18	0	0
132	Patatas cebolla 4 MI	44.7	0	0	38.8	15	0	1.5
133	Patatas natural 4 MI	61.2	3.7	2.4	17.3	15.4	0	0
134	Patatas palito 4 MI	56.1	0	2.6	20.5	20.8	0	0
135	Patatas picante 4 MI	44.3	4.5	0	39.1	8.3	1.7	2.2
136	Rizadas limon 4 MI	61.2	6.3	1.4	16.6	14.4	0	0
137	Rizadas mayonesa 4 MI	47.8	5.6	0	38.6	6.9	0	1.1
138	Rizadas natural 4 MI	59.9	0	2.1	19.9	18.1	0	0
139	Rizadas pollo 4 MI	56.4	0	2.6	21.7	19.3	0	0
140	Ruffles cebolla 4 MI	60.7	0	3.8	22.1	13.4	0	0
141	Ruffles natural 4 MI	57.2	0	3.6	23.1	16	0	0
142	Ruffles picante 4 MI	57.4	0	2.8	21.4	18.4	0	0
143	Ruffles pollo 4 MI	63.3	7.8	4.5	16.3	8.2	0	0
144	Ruffles twist 4 MI	58.9	0	3.4	20.6	17.1	0	0
145	Patatas picante rojo 5 MI	60.5	9.7	1.7	12.7	15	0.4	0
146	Patatas picante menos rojo 5 M	56.7	12.5	2.6	12.7	13.3	2.2	0

## Anexo 2 Composición de ácidos grasos en algunos aceites y grasas

No	Muestras	Oleico	Palmitico	Estearico	Linoleico	Linolenico	Miristico	Laurico
147	Aceite de palma	40.8	44.9	4.1	10.2	0	0	0
148	Oleina de palma	42.6	40.2	4.4	11.3	0.4	1	0
149	Aceite de soya	24.2	10.5	4.2	53.7	7.4	0	0
150	Aceite de canola	57.1	4.1	2	26.5	10.2	0	0
151	Manteca de chanco	46.3	28.4	11.6	11.6	0	2.1	0
152	Manteca vegetal	0.3	9.5	23.8	0	0	17.1	49.3
153	Aceite de maiz	31.0	13	3	52	1	0	0

Fuente: (USDA, 2015)