



Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería en Alimentos

**Caracterización de ácidos grasos y ácidos grasos trans en
mashua (*Tropaeolum tuberosum*) frita**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Alimentos**

Autor: David Restrepo Parrales

Director: Ing. Andrés Pérez González

Cuenca - Ecuador

2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis tíos, Mónica Restrepo y Jairo Gómez, quienes han sido el apoyo incondicional a lo largo de la carrera

Quiero resaltar la constante asistencia y colaboración de los miembros del laboratorio de análisis de química instrumental: Dr. Piercosimo Tripaldi, Ing. Andrés Pérez, Ing. María Inés Valdez y Blgo. Agustín Sparer.

Finalmente, pero no menos importante, quiero manifestar mi infinito agradecimiento hacia mis padres, quienes han hecho lo imposible para brindarme una educación de calidad y darme siempre ese gran apoyo, incluso a la distancia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
Información nutricional de la mashua y sus efectos en la salud.....	8
Proceso de freído	10
Efectos de los ácidos grasos trans en la salud humana.....	11
Absorción de aceite por los alimentos	11
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS	13
1.1 Rebanado.....	13
1.2 Proceso de freído	13
1.3 Diseño experimental.....	14
1.4 Extracción de grasa.....	15
1.5 Caracterización mediante cromatografía	15
1.6 Cuantificación de AGT mediante espectroscopía de FT-IR.....	17
1.7 Análisis Bromatológico	17
CAPÍTULO 2: RESULTADOS.....	19
CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN.....	23
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de mandolina Tupperware®.....	13
Figura 2. Esquema del equipo de fritura	14
Figura 3. Cromatograma de patrón de grasos.....	16
Figura 4. Cromatograma de un producto frito.....	17
Figura 5. Factores que más influyen en la aparición de ácidos grasos trans.....	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la mashua*	9
Tabla 2. Diseño experimental	14
Tabla 3. Diseño experimental para el freído de chips de mashua.....	15
Tabla 4. Resultados bromatológicos de chips de mashua frita*	19
Tabla 5. Análisis de varianza para %AGT	20
Tabla 6. Porcentajes de ácidos grasos trans en los distintos experimentos.....	20
Tabla 7. Perfil lipídico de los chips de mashua frita y de su aceite de freído.....	21
Tabla 8. Información Nutricional	22

“Caracterización de ácidos grasos y ácidos grasos trans en mashua
(*Tropaeolum tuberosum*) frita”

RESUMEN

El perfil lipídico de chips de mashua se realizó con el fin de identificar y cuantificar los diferentes ácidos grasos presentes en el producto, la posible generación de ácidos grasos trans y los factores más influyentes en la aparición de los mismos. Se estandarizó el proceso de corte de los chips de mashua para someterlos a un proceso de fritura controlada. Se elaboró un diseño experimental 2^3 para establecer las diferentes condiciones de freído. El perfil lipídico se obtuvo mediante espectroscopía de infrarrojo y cromatografía de gases. Se obtuvo un porcentaje de grasas trans del 3,25% del total de grasa, el producto absorbió alrededor de un 10% del aceite de freído y las mejores condiciones de freído fueron a 170°C, durante 1'20" y un máximo de 3 reúsos del aceite. Se concluyó que la temperatura y reúso del aceite son los factores más influyentes en la generación de grasas trans en el producto final.

Palabras clave: Freído. Mashua. Grasas trans. Cromatografía de gases. Espectroscopía de infrarrojo.



Ing. Ma. Fernanda Rosales M.
Coordinadora Escuela
Ingeniería en Alimentos



Ing. Andrés Pérez González
Director de Tesis



Sr. David Restrepo Parrales
Autor

**“Characterization of fatty acids and trans fatty acids in fried mashua
(Tropaeolum tuberosum)”**

ABSTRACT

The lipid profile of mashua chips was made in order to identify and quantify fatty acids present in the product, as well as to determine the possible generation of trans fatty acids and define the most influential factors for their appearance. The process of cutting the mashua chips was standardized to subject them to a controlled frying process. An experimental design 2³ was developed to establish the different frying conditions. The lipid profile was obtained by infrared spectroscopy and gas chromatography. A 3.25% of trans fat of the total fat was obtained. The product absorbed around 10% of the frying oil and the best frying conditions were at 170°C for 1'20" with a maximum of 3 oil reuses. It was concluded that the temperature and oil reuse were the most influential factors in the generation of trans fats in the final product.

Keywords: Fried, mashua, trans fat, gas chromatography, infrared spectroscopy.



Ing. Ma. Fernanda Rosales M.

Food Engineering
Faculty Coordinator



Ing. Andrés Pérez González

Thesis Director



David Restrepo Parrales

Author

David Ernesto Restrepo Parrales

Trabajo de graduación

Andrés Pérez González

Octubre, 2018

Caracterización de ácidos grasos y ácidos grasos trans en mashua (*Tropaeolum tuberosum*) frita

INTRODUCCIÓN

La principal importancia de los tubérculos yace en su alto contenido de almidones y minerales, constituyéndose como un alimento altamente energético. Las papas son los tubérculos andinos de mayor importancia debido a su amplio consumo. Sin embargo, existe una gran variedad de tubérculos que crecen en zonas andinas, pero debido a su baja difusión han sido menos valorizados y estudiados; entre ellos se encuentra la mashua (Lara 2017, Surco 2004). Este último tubérculo de aspecto es similar a la oca, cuya mayor concentración de cultivos se encuentra en países como Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú, es cultivado entre los 3.500 y 4.100 msnm, muy resistente por lo cual puede cultivarse en suelos pobres, sin uso de fertilizantes y pesticidas, y aún en estas condiciones, su rendimiento puede duplicar al de la papa (Quelal 2012).

Información nutricional de la mashua y sus efectos en la salud

La alta variación de los valores bromatológicos, en especial los de materia seca en raíces y tubérculos andinos, se debe a una amplia gama de factores, tales como variabilidad genética, prácticas culturales, clima y hasta el tipo de suelo (Espín et al 2004). Al igual que otros tubérculos, la mashua presenta un elevado contenido de carbohidratos, en especial almidón y azúcares. Además, de un interesante contenido de proteínas (9.17%) y de ácido ascórbico (77.37 mg/100) (Grau et al 2003). En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional de la mashua.

Tabla 1. Composición química de la mashua*

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	88,70	%
Cenizas	4,81	%
Proteínas	9,17	%
Fibra	5,86	%
Extracto etéreo	4,61	%
Carbohidratos totales	75,40	%
Almidón	46,92	%
Azúcar total	42,81	%
Azúcares reductores	35,83	%
Vitamina C	77,37	mg/100g mf
Eq. Retinol	735,56	ug/100g mf
Calcio	0,006	%
Fósforo	0,32	%
Magnesio	0,11	%
Sodio	0,044	%
Potasio	1,99	%
Cobre	9,00	ppm
Hierro	42,00	ppm
Manganeso	7,00	ppm
Zinc	48,00	ppm
Iodo	----	ppm

Tomado de Espín et al 2004

* Datos expresados en Base seca, muestra entera
mf= materia fresca

La mashua contiene también glucosinolatos, compuestos azufrados responsables del aroma y sabor amargo o picante característico de este tipo de vegetales. La presencia de algunos de estos compuestos es indeseable, debido a los efectos tóxicos de los productos de su degradación (Arias 2002). Así, los isotiocianatos resultantes de la degradación de los glucosinolatos, irritan las mucosas, incluso, si estos son consumidos como glucosinolatos e hidrolizados en el estómago pueden tener efectos antitiroideos. Mientras que los nitrilos, obtenidos también a partir de la degradación de los glucosinolatos, inhiben el crecimiento y provocan lesiones en hígado y riñón (Lara 2017, Quelal 2012).

Por otro lado, los isotiocianatos son conocidos por sus propiedades antibióticas, insecticidas, nematocidas y diuréticas que demuestran su amplio uso en la medicina popular andina. Dietas con altas concentraciones de crucíferas, como el brócoli, se asocian a efectos protectores en diferentes tipos de cáncer, como el de mama, pulmón, colon, recto y próstata, debido al alto contenido de dicho compuesto (Arias 2002). En la mashua, los isotiocianatos se encuentran en cantidades de 20 mg/100g de producto sin cocinar (Grau et al 2003). Cabe mencionar que procesos como el cortado, la cocción, acción de microondas, fermentación, enlatado, fritura, bajas

temperaturas tienen efecto significativo sobre el contenido de isotiocianatos (Ávalos y Vivero 2013).

La mashua es ampliamente utilizada en la alimentación, medicina y como planta ornamental (Espín et al 2004). A pesar de su característico sabor amargo, su uso como alimento es significativo, para ello los tubérculos son expuestos al sol para aumentar su contenido de azúcares previo a su cocción; este producto resultante es usado para la elaboración de sopas, postres y/o mermeladas. Mientras que las flores y brotes tiernos son consumidos en ensaladas, cocidos o encurtidos en vinagre (CIP 2005, Grau et al 2003). En el caso de su uso medicinal, la planta es preparada en forma de infusión, elaborándose parches con el tubérculo molido en casos de reumatismos y para tratar malestares de próstata (Tapia y Fries 2007). Es pertinente detallar que el uso de mashua como alimento reduce significativamente los niveles de testosterona en ratas machos (CIP 2005).

Proceso de freído

El freído de alimentos es uno de los métodos de cocción con mayor aceptación mundial, debido a las características que provee al alimento, como sabor, color y textura crujiente; incluso su preparación es rápida y sencilla.

El freído de los alimentos es definida como la cocción en aceite o grasa caliente a temperaturas elevadas (150-200°C), donde el aceite actúa como transmisor del calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme en el alimento (Bravo 2008). Durante este proceso, la grasa o el aceite presenta un gran número de reacciones complejas, que pueden producir disminución de los componentes nutricionales y aumento en la formación de compuestos tóxicos, como polímeros y monómeros de ácidos grasos cíclicos y compuestos polares, que pueden pasar al alimento frito y ser ingeridos. Simultáneamente, ocurren varios cambios importantes en el aceite circundante. La viscosidad aumenta, la tensión superficial disminuye y la grasa se oxida, entre otros (Suaterna 2009, Tirado et al 2012)

Por otro lado, en forma pura, todas las grasas están constituidas exclusivamente por triglicéridos, los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol. Debido a esto, las diferencias de estabilidad a la oxidación, de plasticidad, de estado físico, de patrón de cristalización, de índice de yodo, de temperaturas de solidificación y de fusión de grasas (Badui 2006) se ven afectados por el proceso de fritura.

Además, las insaturaciones presentes en las grasas son susceptibles a sufrir isomerizaciones, ya sea de tipo geométrico (cis-trans) o posicional. Entre los ácidos grasos insaturados más comunes

en aceites se encuentran el oleico, linoleico y linolénico. En estado natural, la mayoría de estos ácidos grasos insaturados son cis, mientras que los trans se encuentran en grasas hidrogenadas comerciales (Badui 2006, Ballesteros et al 2012). Los ácidos grasos trans (AGT) se obtienen a partir de las grasas insaturadas mediante la hidrogenación de aceites. Es importante señalar que algunos alimentos contienen algunas grasas trans de forma natural, como la leche, la carne de ternera o de cordero. También aparecen por el calentamiento del aceite a altas temperaturas (García 2014).

Efectos de los ácidos grasos trans en la salud humana

Los ácidos grasos trans son formados intencionalmente debido a que aumentan el punto de humo de los aceites cuando se compara con el mismo ácido graso en forma cis o su correspondiente forma saturada, mejorando de esta forma sus propiedades industriales; sin embargo, numerosas investigaciones han demostrado que los AGT tienen un efecto adverso en la salud, incluso mayor al daño producido por las grasas saturadas. Este efecto se ha visto reflejado principalmente en alteraciones del perfil lipídico y del sistema cardiovascular. Además, se ha reportado una relación con la diabetes mellitus, ciertos tipos del cáncer y la obesidad (Ballesteros et al 2012, García 2014)

Los AGT elevan las concentraciones séricas de los triglicéridos de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de la lipoproteína a [Lp(a)]. Además, disminuyen la concentración sérica de las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Éstas, se encargan de disminuir los efectos desfavorables del consumo de grandes cantidades de grasas al transportarlas del tejido periférico hacia el hígado para su posterior oxidación, por lo que su disminución contribuye al desarrollo del proceso aterogénico. (Ballesteros et al 2012)

Absorción de aceite por los alimentos

Diferentes autores identificaron los dos siguientes mecanismos de absorción de aceites por los alimentos como los más importantes (Dana y Saguy 2006, Mellema 2003):

- Mecanismo de reemplazo de agua: Durante la fritura se produce una transferencia de calor entre el alimento y el ambiente. El agua se evapora rápidamente y la superficie exterior se seca, formando una costra por la existencia de dos regiones en constante movimiento, una deshidratada denominada corteza y un centro húmedo. La humedad en el producto frito se convierte en vapor, creando una gradiente de presión positiva, esto determina que el vapor escape por las grietas y abra los capilares, generando que durante

esta fase exista un menor ingreso de aceite, el cual corresponde aproximadamente a 20% de la absorción final. Sin embargo, la absorción del aceite no se produce si los poros de la superficie del alimento están siendo ocupados por el vapor de agua. Por lo tanto, la absorción de aceite está determinada en gran medida por el contenido de humedad de los alimentos (Dana y Saguy 2006, Mellema 2003).

- Fase de enfriamiento o condensación: Al retirar el alimento del aceite caliente, el núcleo de este comienza a enfriarse, provocando la condensación gradual del vapor de agua presente en el interior del alimento. En consecuencia, disminuye la presión interna que provoca un efecto de vacío, donde se produce la mayor absorción y el aceite adherido a la superficie del alimento es aspirado (Dana y Saguy 2006, Mellema 2003).

Finalmente, existe una escasa cantidad de información de este tubérculo andino y recientemente está teniendo un creciente atractivo para los productores industriales como opción para la elaboración de snacks. La determinación de un perfil lipídico en mashua frita es necesaria para conocer la cantidad y la calidad de ácidos grasos que se están ingiriendo, y comprobar si las condiciones de un freído común contribuye a la generación de ácidos grasos trans, para de esta manera garantizar la seguridad alimentaria.

CAPÍTULO 1

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Rebanado

Se estableció un corte de 2mm para cada rodaja de mashua, utilizándose para ello una mandolina de cocina (Tupperware[®], New Rockford, Estados Unidos) cuyo corte es regulable y estandarizado de fábrica. Su esquema se muestra en la Figura 1.

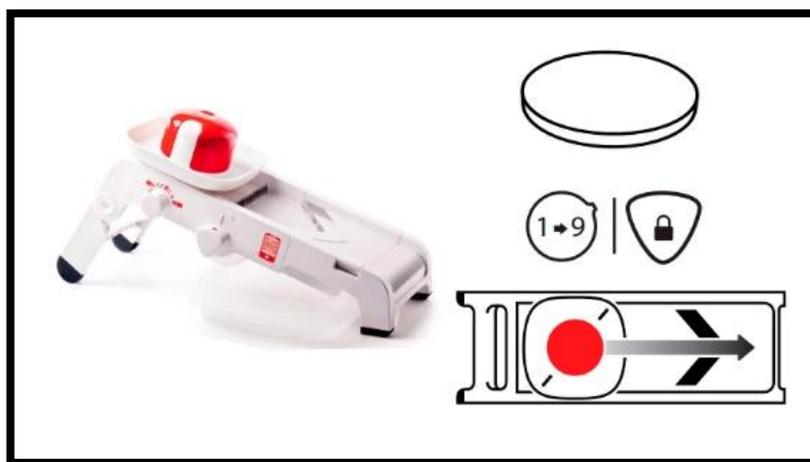


Figura 1. Esquema de mandolina Tupperware[®]

1.2 Proceso de freído

El equipo de fritura fue desarrollado por los autores, el mismo que consta de una olla de aluminio aislada con fibra de corindón, un controlador de temperatura y una canasta de aluminio para portar el alimento a freír. El mismo que se encuentra esquematizado en la Figura 2.

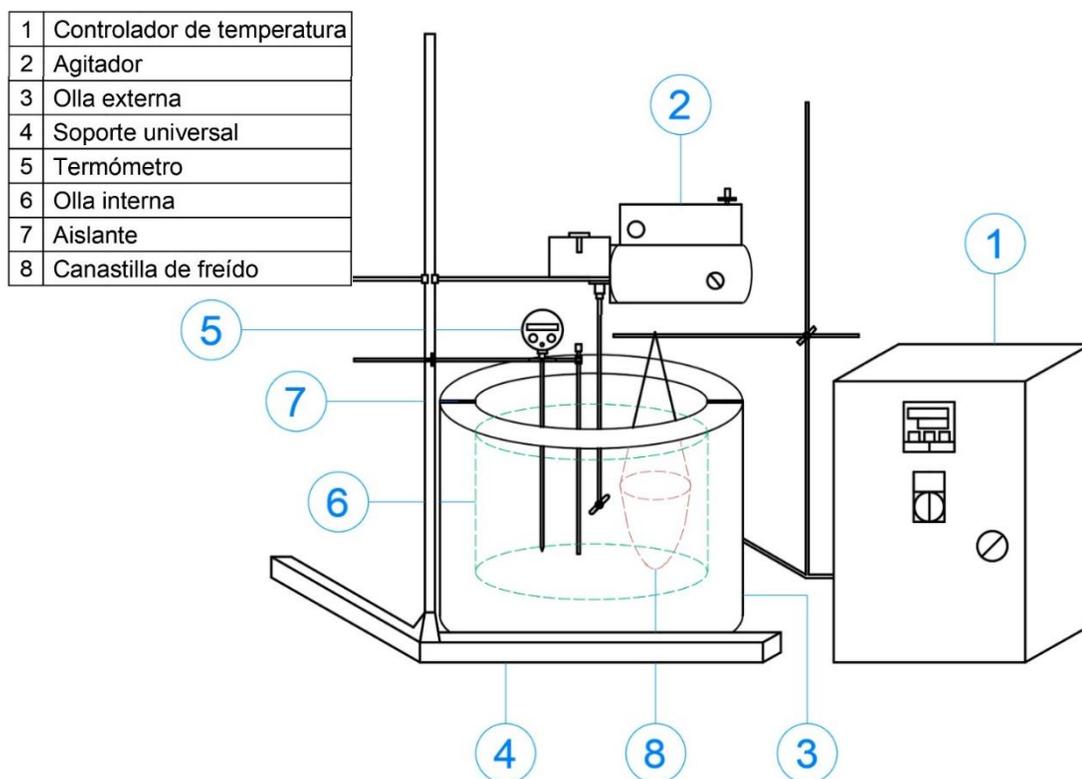


Figura 2. Esquema del equipo de fritura

1.3 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental 2^k para el freído de los chips de mashua (Tabla 2) cuyos factores fueron tiempo, temperatura y reúso del aceite para freír. Se trabajó con aceite de uso comercial (mezcla de palma y soya).

Tabla 2. Diseño experimental

Experimento	Tiempo	T (°C)	Reúso
T1	-	-	-
T2	+	-	-
T3	-	+	-
T4	+	+	-
T5	-	-	+
T6	+	-	+
T7	-	+	+
T8	+	+	+

Se estableció un "Cero" cuyas condiciones fueron: 1'20", 170°C, 3 usos

Tabla 3. Diseño experimental para el freído de chips de mashua

Experimento	Tiempo	T (°C)	Reúso
T1	1'10"	165	1
T2	1'30"	165	1
T3	1'10"	175	1
T4	1'30"	175	1
T5	1'10"	165	5
T6	1'30"	165	5
T7	1'10"	175	5
T8	1'30"	175	5

Se estableció un "Cero" cuyas condiciones fueron: 1'20", 170°C, 3 usos

1.4 Extracción de grasa

La extracción de grasa se realizó mediante el método de solventes, para lo cual se usó un equipo SOLVENT EXTRACTOR 148 (VELP SCIENTIFICA, Usmate, Italia) trabajando a una temperatura de 120°C y éter de petróleo como solvente. Este método también se usó para el análisis bromatológico

1.5 Caracterización mediante cromatografía

La caracterización lipídica se llevó a cabo en un equipo cromatografía de gases (Carlo Erba Instruments serie HRGC 5300, Milán, Italia). Se aplicó el método FAME (Fatty Acid Methyl Ester), el mismo que consiste en la metilación de los ácidos grasos presentes en la muestra para que puedan ser cuantificados por el equipo. Se utilizó hidrógeno como fase móvil y una columna de polimetil silicona para el transporte del mismo. El patrón utilizado para la cuantificación, fue una mezcla de ácidos grasos para cromatografía (Sigma Aldrich, San Luis, Estados Unidos). En la Figura 3 se muestra el cromatograma del patrón utilizado.

Grain Fatty Acid Methyl Ester Mix

Catalog No. 47801

This fatty acid methyl ester (FAME) mixture is carefully prepared by weight. The weight percentage of each component is indicated. Each ampule contains 10mg/mL of the FAME reference standard mix in methylene chloride.

Column: SP™-2560, 100m x 0.25mm ID, 0.20µm film
 Cat. No.: 24056
 Oven: 140°C (5 min) to 240°C at 4°C/min
 Carrier: helium, 20cm/sec
 Det.: FID, 260°C
 Inj.: 1µL, 260°C, split 100:1

Component	Weight %
1. Caprylic Acid Methyl Ester (C8:0)	1.9%
2. Capric Acid Methyl Ester (C10:0)	3.2%
3. Lauric Acid Methyl Ester (C12:0)	6.4%
4. Tridecanoic Acid Methyl Ester (C13:0)	3.2%
5. Myristic Acid Methyl Ester (C14:0)	3.2%
6. Myristoleic Acid Methyl Ester (C14:1n9c)	1.9%
7. Pentadecanoic Acid Methyl Ester (C15:0)	1.9%
8. Palmitic Acid Methyl Ester (C16:0)	13.0%
9. Palmitoleic Acid Methyl Ester (C16:1n9c)	6.4%
10. Heptadecanoic Acid Methyl Ester (C17:0)	3.2%
11. Stearic Acid Methyl Ester (C18:0)	6.5%
12. Elaidic Acid Methyl Ester (C18:1n9t)	2.6%
13. Oleic Acid Methyl Ester (C18:1n9c)	19.6%
14. Linoleic Acid Methyl Ester (C18:2n6c)	13.0%
15. Arachidic Acid Methyl Ester (C20:0)	1.9%
16. cis-11-Eicosenoic Acid Methyl Ester (C20:1)	1.9%
17. Linolenic Acid Methyl Ester (C18:3n3)	6.4%
18. Behenic Acid Methyl Ester (C22:0)	1.9%
19. Erucic Acid Methyl Ester (C22:1n9)	1.9%

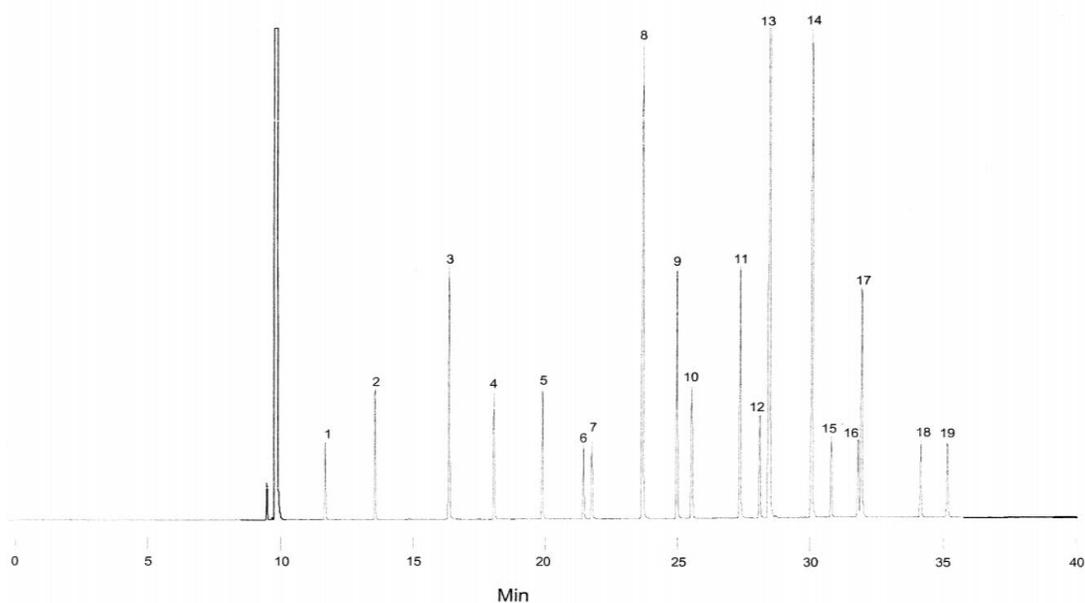


Figura 3. Cromatograma de patrón de grasos

La medición de los ácidos grasos, presentes en las muestras, se muestran en la figura 4. Para poder identificar los ácidos grasos, se realizó la comparación cuantitativa con el cromatograma de los patrones.

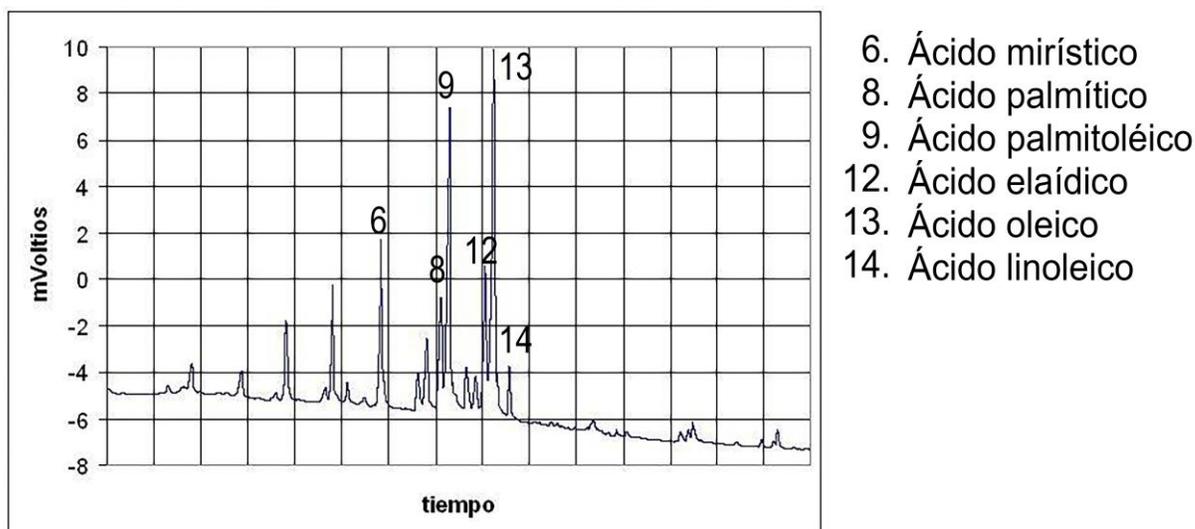


Figura 4. Cromatograma de un producto frito

1.6 Cuantificación de AGT mediante espectroscopía de FT-IR

La grasa extraída de las muestras fue medida en un espectrofotómetro infrarrojo (THERMO SCIENTIFIC NICOLET IR 100 FTIR, Waltham, Estados Unidos), haciendo un barrido entre 750 y 1100 cm^{-1} con 32 espectros, un "gain" de 4 y en absorbancia; el pico de interés se encuentra de 945-990 cm^{-1} . Se calculó el área bajo el pico utilizando el programa OMNIC 7.3 (Thermo Electron Corporation) y para obtener el porcentaje de ácidos grasos trans se aplicó un modelo desarrollado por Sherazi (Sherazi 2009). El cual se indica a en la ecuación 1:

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

1.7 Análisis Bromatológico

Humedad: Se empleó un secado bajo temperaturas de 100°C y una cantidad aproximada de muestra de 10 gramos, en donde se calcula la humedad en base a la pérdida de peso.

Proteínas: Se utilizó el método de Kjeldahl, para lo cual se realizó la digestión de las proteínas y otros compuestos orgánicos en una mezcla de ácido sulfúrico y catalizadores como el sulfato de cobre y potasio. Se utilizó una unidad de destilación serie UKD129(VELP® SCIENTIFICA, Usmate, Italia). La digestión de las proteínas se realizó en una rampa de 120°C por 10 minutos, luego a 150°C por 10 minutos y finalmente a 320°C por dos horas, la destilación se la realizó con sosa saturada durante 5 minutos mientras que la titulación se realizó con ácido clorhídrico 0,1329 (N).

Cenizas: Se realizó el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición de la muestra en donde se hizo uso de ácido nítrico de modo que la muestra esté completamente transformada en cenizas.

Fibra: Se usó el método ácido-básico, en el cual se realizó la solubilización de compuestos no celulósicos por soluciones de ácido sulfúrico al 1,25% e hidróxido de sodio a la misma concentración. El equipo utilizado para este análisis fue un extractor de fibra cruda (VELP® SCIENTIFICA, Usmate, Italia).

CAPÍTULO 2

RESULTADOS

Los valores obtenidos del análisis bromatológico efectuado sobre la mashua, antes y después del proceso de fritura, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados bromatológicos de chips de mashua frita*

Parámetro	Mashua cruda ¹	Mashua frita ²	Unidad
Humedad	85,07 ± 0,17	57,04 ± 0,91	%
Cenizas	4,23 ± 0,16	4,05 ± 0,54	%
Proteínas	5,98 ± 0,43	4,39 ± 0,50	%
Fibra	19,78 ± 0,81	18,56 ± 0,48	%
Grasa total	0,58 ± 0,19	12,78 ± 0,62	%
Grasas trans³	0	3,25 ± 0,16	%
Carbohidratos totales	69,43 ± 0,26	60,22 ± 0,45	%

¹ Datos expresados en Base seca

² Datos expresados en Base seca, muestra entera

³ Porcentaje expresado de la Grasa total

Efectuado el diseño experimental, y teniendo como respuesta del mismo la presencia de ácidos grasos trans, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Tabla 5, donde se ha hecho el análisis de la varianza de los mismos. Para determinar la influencia de las variables, se efectuó un diagrama de Pareto presentando la significancia de las variables (Figura 5).

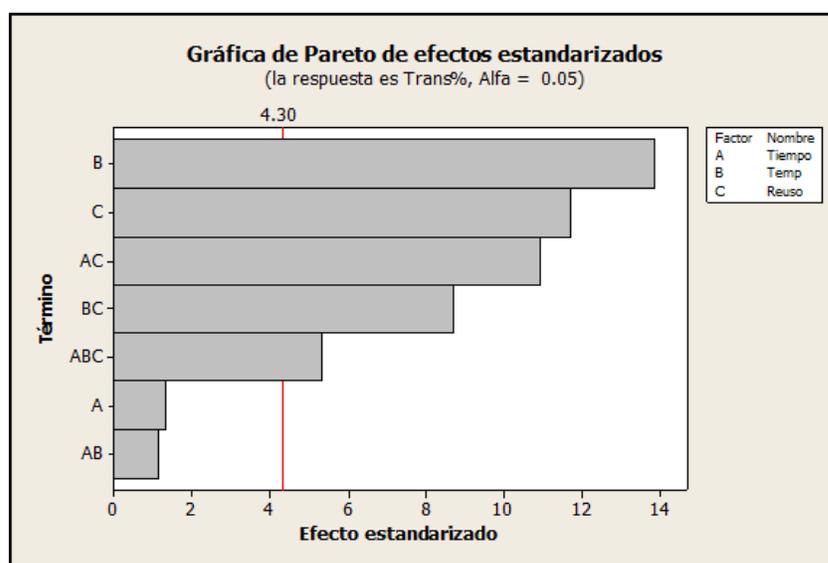


Figura 5. Factores que más influyen en la aparición de ácidos grasos trans

Tabla 5. Análisis de varianza para %AGT

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	14,8668	1,85835	70,30	0,014
Lineal					
Tiempo	1	0,0840	0,08405	3,18	0,216
Temp	1	5,4121	5,41205	204,74	0,005
Reúso	1	3,3282	3,32820	125,91	0,008
Interacciones de 2 términos					
Tiempo*Temp	1	0,0685	0,06845	2,59	0,249
Tiempo*Reúso	1	3,4322	3,43220	129,84	0,008
Temp*Reúso	1	1,8050	1,80500	68,28	0,014
Interacciones de 3 términos					
Tiempo*Temp*Reúso	1	0,6272	0,62720	23,73	0,040
Curvatura	1	0,1096	0,10964	4,15	0,179
Error	2	0,0529	0,02643		
Total	10	14,9197			

En la Tabla 6 se indican los porcentajes de ácidos grasos trans obtenidos a partir del área bajo la curva de los distintos experimentos según el método de Sherazi (Sherazi et al 2009). Los porcentajes de ácidos grasos trans están en función del porcentaje de grasa total.

Tabla 6. Porcentajes de ácidos grasos trans en los distintos experimentos

Experimentos	Tiempo	Temp (°C)	Reúsos	Área	%AGT
T1	1'10"	165	1	1,579	2,76
T2	1'30"	165	1	1,696	2,97
T3	1'10"	175	1	0,580	0,91
T4	1'30"	175	1	0,772	1,27
T5	1'10"	165	5	2,779	4,97
T6	1'30"	165	5	1,754	3,08
T7	1'10"	175	5	2,196	3,90
T8	1'30"	175	5	2,582	4,61
Cero 1	1'20"	170	3	1,926	3,40
Cero 2	1'20"	170	3	1,865	3,29
Cero 3	1'20"	170	3	1,751	3,08

Para cada uno de los experimentos se determinó el perfil lipídico, los ácidos grasos determinados fueron mirístico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico, palmítico, palmitoleico y láurico. También se analizaron los aceites utilizados en el proceso de fritura a sus distintas condiciones. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Perfil lipídico de los chips de mashua frita y de su aceite de freído

Experimento	Mirístico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico	Palmítico	Palmitoleico	Láurico
T1	1,52	26,86	36,16	ND	ND	23,19	11,71	0,56
T2	6,49	25,56	29,44	0,29	0,66	27,73	9,30	0,53
T3	5,78	30,36	25,83	ND	ND	29,33	8,29	0,41
T4	4,58	27,75	30,81	ND	0,25	26,69	9,46	0,46
T5	6,18	26,60	30,44	ND	0,95	25,68	9,64	0,51
T6	7,38	17,63	36,46	5,13	1,28	20,11	11,32	0,69
T7	4,17	22,37	37,18	0,91	ND	22,74	11,99	0,64
T8	3,05	24,84	35,78	1,39	0,91	21,84	11,51	0,68
Cero 1	0,21	25,66	28,31	13,31	ND	20,32	11,51	0,68
Cero 2	0,21	16,99	31,70	16,83	ND	23,02	10,72	0,53
Cero 3	0,21	16,97	36,10	14,17	ND	20,67	11,21	0,67
Aceite 165°C 1 uso	3,60	21,36	39,58	ND	ND	21,97	12,72	0,77
Aceite 165°C 5 usos	3,50	19,39	36,74	1,62	ND	26,49	11,59	0,67
Aceite 175°C 1 uso	4,51	22,43	33,11	0,66	ND	27,61	11,03	0,65
Aceite 175°C 5 usos	5,29	19,77	34,06	2,80	ND	26,81	10,67	0,60
Aceite 170°C 3 usos	2,96	22,80	34,99	ND	ND	26,76	11,72	0,77
Aceite Fresco	5,13	19,32	30,13	5,31	1,72	27,09	10,74	0,56

ND = No Detectable

Se estableció un tamaño por porción de 25 gramos, tomando como referencia la presentación comercial de papas fritas tipo chips. Con los datos obtenidos bromatológicamente se elaboró una tabla nutricional en base a la cantidad de producto antes descrita y los valores diarios se calcularon a partir de una dieta de 2000 calorías.

Tabla 8. Información Nutricional

Tamaño por porción: 25g		
Porciones por empaque: 1		
Cantidad por porción		
CALORÍAS: 110	CALORÍAS DE GRASA: 30	
	% Valores Diarios*	
Grasa Total	3g	6%
Grasas Trans	0g	0%
Grasas Saturadas	2g	9%
Carbohidratos	18g	6%
Fibra dietética	5g	20%
Azúcares	13g	
Minerales	1g	
Proteína	1g	1%

*Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 Calorías

CAPÍTULO 3

DISCUSIÓN

Los resultados bromatológicos obtenidos del producto crudo son bastante similares a los reportados para mashua por Espín (2004), discrepando tan sólo del contenido de fibra, lo cual se puede atribuir al estado de maduración del tubérculo (Saleh 2016).

El análisis del diseño factorial en cuanto al porcentaje de ácidos grasos trans, indica que el factor más influyente en la generación de dichos compuestos es la temperatura ($p=0,005$), seguido del reuso del aceite de freído ($p=0,008$). Fácilmente se puede excluir el tiempo de freído como factor influyente debido a que en este caso los chips de mashua son freídos por lapsos de tiempo bastante breves. Por otro lado, la bibliografía corrobora que la formación de ácidos grasos trans se ve incrementada por la incidencia de altas temperaturas (García 2014, Ministerio de agricultura 2011). El reuso del aceite de freído también genera compuestos oxidados y tóxicos, y, por ende, contribuye a la formación de ácidos grasos trans (Alireza et al 2010, Valenzuela et al 2003).

Del perfil lipídico del producto terminado y de su aceite de freído se puede observar cambios importantes que se dan entre los ácidos oleico, linoleico y linolénico; debido principalmente a los procesos de hidrogenación y deshidrogenación por las altas temperaturas, las cuales incrementan la velocidad de reacción, pero también remueven y reducen el hidrógeno disponible lo que facilita la selectividad y la formación de trans (Badui 2006). Como se puede observar en la Tabla 7, el ácido linolénico en todas las muestras de producto terminado y aceites resultantes de los diferentes tratamientos realizados, están muy cercanos a 0%, por lo que en su mayoría no son detectables, a diferencia del aceite fresco, cuyo porcentaje se acerca a 2%. Esta variación entre aceites crudos y tratados por freído se debe a la composición del primero de ellos, ya que de forma comercial es una mezcla de aceites derivados de palma y soya. El aceite de soya posee una cantidad considerable de ácido linolénico (Badui 2006) lo que lo hace susceptible a transformaciones de hidrogenación, oxidación o isomerización, lo que explicaría su degradación durante el freído.

Por otro lado, el ácido linoleico se vio incrementado en el experimento Cero, lo que puede indicar que a dichas condiciones específicas de freído se forma este ácido por procesos de hidrogenación y deshidrogenación. En lo que respecta a los ácidos oleico y palmítico, sus valores son altos debido a que son ácidos predominantes en el aceite de soya y palma respectivamente (Badui, 2006)

El ácido esteárico es un compuesto saturado, su alta incidencia presente en el producto terminado y su aceite de freído, se debe principalmente a la transformación final de la hidrogenación de los

distintos ácidos poliinsaturados (Badui 2006, Fillion y Henry 1998). El aceite fresco es el que menor porcentaje de ácido esteárico posee.

Como se esperaba, los resultados bromatológicos de los chips de mashua frita reflejan que el producto ha perdido agua y ha ganado grasa, en comparación con la mashua cruda. El contenido de proteínas, cenizas y fibra se ha mantenido constante. El contenido de carbohidratos, por otro lado, también se ha visto disminuido en un 10% aproximadamente, lo cual se puede atribuir al estado de maduración del tubérculo (Saleh 2016).

CONCLUSIONES

El diseño experimental establecido permitió identificar los factores más influyentes en la generación de grasas trans durante el freído, siendo estos temperatura y reuso del aceite para freír. El mismo diseño experimental ayudó a concluir que las mejores condiciones para freír los chips de mashua fueron 1'20", 170°C y 3 reusos; es decir, el experimento Cero.

El perfil lipídico obtenido de los chips de mashua freídos en diferentes condiciones mostró una similitud entre sus resultados; por otro lado, el perfil lipídico del aceite de freído arrojó datos muy parecidos a los del producto frito, con lo que se puede concluir que los diferentes ácidos grasos presentes en el aceite de freído son transferidos en similar proporción al producto terminado, prescindiendo de las condiciones de freído.

El análisis bromatológico indica que en el producto final la grasa corresponde al 12,78%, lo que indica un aumento del 12% del material graso, debido a la absorción del aceite de freído, ya que el contenido de grasa en la mashua cruda es de 0,58%.

En chips de mashua frita se obtuvo un 3,25% de AGT del total de grasa, este es un valor relativamente bajo, pero hay que tener en cuenta que tan sólo se reutilizó tres veces el aceite de freído. En los experimentos con 5 reutilizaciones de aceite, se observa que este porcentaje aumenta, hasta el 5%. Como conclusión general, se puede acotar que la reutilización del aceite de freído es uno de los principales factores para la generación de grasas trans en las frituras y es el factor más fácil de controlar para evitar la aparición de dichos compuestos perjudiciales para la salud. Por otro lado, la manera más eficiente de cuidar nuestra salud es informarse y crear consciencia de los beneficios y perjuicios que los distintos aceites y grasas pueden manifestar; para ello, los buenos hábitos alimenticios y la forma de preparar los alimentos son las mejores defensas para garantizar la seguridad alimentaria y mantener una buena salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alireza, S. et al. "Effect of Frying Process on Fatty Acid Composition and Iodine Value of Selected Vegetable Oils and Their Blends." *International Food Research Journal* 17.2 (2010): 295–302. Print.
- Angela Renee Arias Ramirez. "Biotecnología y Metabolitos Secundarios En La Maca." 4554 (2002): 115. Print.
- Ávalos, Claudia Alejandra, and María Alejandra Vivero. "Proyecto de Factibilidad de Un Nuevo Producto a Base de Mashua." (2013): n. pag. Web.
- Badui, Salvador. *Química de Los Alimentos*. Cuarta edi. México: Pearson, 2006. Print.
- Ballesteros, M et al. "Ácidos Grasos Trans: Un Análisis Del Efecto de Su Consumo En La Salud Humana, Regulación Del Contenido En Alimentos y Alternativas Para Disminuirlos TRANS FATTY ACIDS: CONSUMPTION EFFECT ON HUMAN HEALTH AND REGULATION CHALLENGES." *Nutr Hosp.Nutr Hosp* 2727.1 (2012): 54–6454. Web.
- Bravo, Juan. "Contribución Al Estudio de La Fritura Al Vacío: Deshidratación de Rodajas de Manzana." (2008): 1–173. Web.
- CIP. "MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*)." N.p., 2005. Web.
- Dana, Dina, and I. Sam Saguy. "Review: Mechanism of Oil Uptake during Deep-Fat Frying and the Surfactant Effect-Theory and Myth." *Advances in Colloid and Interface Science* 128–130 (2006): 267–272. Web.
- Espín, Susana, Elena Villacrés, and Beatriz Brito. "Caracterización Físico - Química , Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos." *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. N.p., 2004. Web.
- Fillion, L., and C. J.K. Henry. "Nutrient Losses and Gains during Frying: A Review." *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 49.2 (1998): 157–168. Web.
- García, Víctor. "Las Grasas." *Programa Perseo* (2014): 4. Web.
- Grau, A. et al. *Mashua Tropaeolum Tuberosum Ruiz and Pav*. N.p., 2003. Web.
- Lara, Mario. "Deshidratación de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) Para La Obtención de Hojuelas." Universidad Técnica del Norte, 2017. Web.
- Mellema, M. "Mechanism and Reduction of Fat Uptake in Deep-Fat Fried Foods." *Trends in Food Science and Technology* 14.9 (2003): 364–373. Web.
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. "Ácidos Grastos Trans En Los Alimentos: Orientaciones Para Los Operadores." (2011): n. pag. Web.
- Quelal, María. "OBTENCIÓN DE RODAJAS FRITAS 'CHIPS' DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) APLICANDO LA TECNOLOGÍA DE FRITURA." UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, 2012. Web.
- Saleh, Ahmed S M. "Changes in Nutritional Quality of Zucchini (*Cucurbita Pepo* L .) Vegetables During the Maturity." January 2015 (2016): n. pag. Print.

- Sherazi, S. T H et al. "Application of Transmission FT-IR Spectroscopy for the Trans Fat Determination in the Industrially Processed Edible Oils." *Food Chemistry* 114.1 (2009): 323–327. Web.
- Suaterna, Adriana Cecilia. "La Fritura de Los Alimentos: El Aceite de Fritura: Revisiones." *Perspect. nutr. hum* 11.1 (2009): 39–53. Web.
- Tapia, Mario E, and Ana Maria Fries. *Guia de Campo de Los Cultivos Andinos*. N.p., 2007. Print.
- Tirado, Diego., Acevedo, Diofanor., Guzman, luis. "Freído Por Inmersión de Los Alimentos." February 2016 (2012): 80. Web.
- Valenzuela A, Sanhueza J, Nieto S, Petersen G, Tavella M. "Estudio Comparativo En Fritura de La Estabilidad de Diferentes Aceites Vegetales." *Aceites Grasas* 53.4 (2003): 568–73. Web.