



Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería de Alimentos

Caracterización de ácidos grasos en plátano maduro frito

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

Autor:

Xavier Guerrero Valdez

Director:

MSc. Andrés Pérez González

Cuenca, Ecuador, 2018

DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermana, quienes me brindaron el apoyo diario en el transcurso de mi carrera universitaria.

También dedico con gratitud a mi querida universidad, en cuyas aulas me formé como persona y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a los integrantes del laboratorio de análisis de química instrumental: Dr. Piercosimo Tripaldi, Ing. Andrés Pérez, Ing. María Inés Valdez, Blgo. Agustín Sparer, los cuales me brindaron los conocimientos necesarios para la elaboración de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN	8
Información nutricional del plátano maduro	8
Estado de maduración del plátano.....	9
Grados Brix en la maduración del plátano	9
Ácidos grasos	9
Presencia de insaturaciones en los ácidos grasos.....	9
Isomería.....	10
Proceso de fritura.....	11
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Diseño Experimental.....	12
Freído.....	13
Estandarización del corte.....	13
Extracción de la grasa.....	14
Caracterización por cromatografía de gases.....	14
Cuantificación de ácidos grasos <i>trans</i> por espectroscopía de infrarrojo.....	15
Análisis Bromatológico proximal	15
Estado de maduración del plátano	16
CAPÍTULO 2: RESULTADOS.....	16
CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIONES.....	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
ANEXOS.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Punto de fusión del ácido oleico (cis) y el ácido elaídico (trans, hidrogenado comercialmente).....	10
Figura 2. Esquema de equipo de freído.	13
Figura 3. Esquema de mandolina Tupperware®.....	13
Figura 4. Cromatograma del producto frito	14
Figura 5. Cromatograma de patrones para ácidos grasos	15
Figura 6. Factores que intervienen en la aparición de ácidos grasos trans.....	17

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química y bioquímica del banano y el plátano en sus diferentes estados fisiológicos por 100 g de peso neto.	8
Tabla 2. Diseño Experimental 2k.....	12
Tabla 3. Resultados bromatológicos de plátano verde y maduro crudo	16
Tabla 4. Análisis de Varianza de los factores	17
Tabla 5. Perfil lipídico del plátano maduro frito y de su aceite usado para el freído.	18
Tabla 6. Resultados bromatológicos de plátano verde y maduro fritos	19
Tabla 7. Información Nutricional	19
Tabla 8. Porcentaje de ácidos grasos trans en las distintas variables.....	27

Caracterización de ácidos grasos en plátano maduro frito

RESUMEN

El freído genera cambios fisicoquímicos en el plátano maduro y en el aceite; sin embargo, estos cambios están dados por factores como el tiempo, temperatura de freído y reuso del aceite, teniendo en cuenta también el tipo de alimento sometido a dicho proceso. En este trabajo se realizó un análisis de los factores antes mencionados y se los evaluó mediante un proceso de simulación de fritura, obteniéndose como resultados que el tiempo de freído y el reuso del aceite son factores importantes en la generación de ácidos grasos *trans*. Para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos, se utilizó la cromatografía de gases (GC) y la espectroscopía de infrarrojo (IR). Estos análisis se complementaron mediante el análisis bromatológico proximal del producto, donde se estableció que el producto gana aproximadamente un 26% de grasa, lo que involucra una pérdida del 43% de agua. El objetivo de todo esto es instruir al consumidor sobre los peligros que conllevan los ácidos grasos sobre la salud y lograr así disminuir su consumo.

Palabras claves: Freído. Plátano maduro. Maduración del plátano. Perfil lipídico. Cromatografía de gases. Espectroscopía de infrarrojo.



Ing. Ma. Fernanda Rosales M.

Coordinadora Escuela

Ingeniería en Alimentos



Ing. Andrés Pérez González

Director de Tesis



Sr. Xavier Guerrero Valdez

Autor

Characterization of fatty acids in fried mature banana

ABSTRACT

The frying process generates physicochemical changes in mature bananas and oil. These changes are caused by factors such as time, frying temperature, oil reuse and the type of food subjected to the frying process. This work carried out an analysis of the aforementioned factors and evaluated them by means of a frying simulation process. It was obtained that the frying time and oil reuse were important factors in the generation of trans fatty acids. Gas chromatography (GC) and infrared (IR) spectroscopy were used for the identification and quantification of fatty acids. These were complemented by the proximal bromatological analysis of the product and it was established that it gained approximately 26% fat and lost 43% water. The objective of this work was to educate the consumer about the dangers that fatty acids cause in health and thus reduce their consumption.

Keywords: Fry. Ripe banana. Banana ripening. Lipid profile. Gas chromatography. Infrared spectroscopy.



Ing. Ma. Fernanda Rosales M.

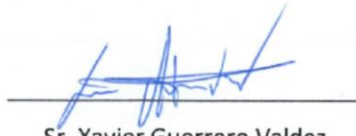
Coordinadora Escuela

Ingeniería en Alimentos



Ing. Andrés Pérez González

Director de Tesis



Sr. Xavier Guerrero Valdez

Autor



Translated by
Ing. Paul Arpi

Xavier Leonardo Guerrero Valdez

Trabajo de gradación

Andrés Pérez González

Septiembre, 2018

Caracterización de ácidos grasos en plátano maduro frito

INTRODUCCIÓN

Información nutricional del plátano maduro

El plátano se cultiva en regiones tropicales y subtropicales. Normalmente se cosecha con el pericarpio de color verde y se torna amarillo con el tiempo. El plátano maduro resalta por su elevado contenido de agua y carbohidratos (MAGAP 2014). El almidón es el hidrato de carbono mayoritario en el plátano verde, el cual se va convirtiendo en azúcares sencillos (por ejemplo, sacarosa, glucosa y fructosa) a medida que la fruta madura. Hay que tener en cuenta que también están presentes micronutrientes tales como potasio, vitaminas A y C. Sin embargo es pobre en proteínas y lípidos (Moreira 2013).

Tabla 1. Composición química y bioquímica del banano y el plátano en sus diferentes estados fisiológicos por 100 g de peso neto.

Componentes	Unidad	Plátano inmaduro	Plátano maduro
Energía	Kcal	91	122
Agua	g	63	65
Proteína	g	0.8	1.3
Lípidos totales	g	0.1	0.37
Carbohidratos	g	24.3	32
Fibra dietaria	g	5.41	2.0 – 3.4
Na	mg		4.0
K	mg		500
Ca	mg	7	3.0
Mg	mg	33	35.0
P	mg	35	30
Fe	mg	0.5	0.6
Cu	mg	0.16	
Zn	mg	0.1	
Mn	mg	15	
Eq.Betacaroteno		0.03 – 1.20	390 -1035
Vitamina E	mg		
Vitamina C	mg	20	20

(Casallas 2010)

El plátano maduro se usa como un ingrediente básico en la cocina de áreas tropicales. Así, en Ecuador se lo prepara frito, cocinado o asado y suele servirse como acompañamiento en diversos platos gastronómicos procedentes de la costa Ecuatoriana. Se conoce que el plátano maduro equilibra la cantidad de agua en el cuerpo, por lo tanto elimina líquidos

permitiendo la pérdida de peso. Otra propiedad que se le atribuye al plátano es que ayuda a personas con problemas intestinales, ya que la concentración de taninos en el fruto permite actuar como astringente (Vallejo 2012).

Estado de maduración del plátano

En general, para la evaluación de la calidad del plátano se aplican técnicas sensoriales e instrumentales. Durante la maduración del plátano el color de la cáscara cambia, el sabor se desarrolla y la pulpa se ablanda. El primer signo observable dentro del proceso de maduración es el cambio de color de verde a amarillo. La pérdida de color verde se debe a la degradación de la estructura de la clorofila, la cual ocurre en forma paralela a la maduración. Las xantofilas libres disminuyen durante la maduración mientras que los niveles de xantofila éster aumentan. La actividad de clorofilasa aumenta con la maduración y se hace paralela al pico respiratorio (Dadzie y Orchard 1997). En la industria de los alimentos se hace uso de una ficha de control visual del plátano la misma que ofrece una orientación del estado de maduración del producto.

Grados Brix en la maduración del plátano

Durante la maduración del plátano, el contenido de sólidos solubles totales (principalmente azúcar) aumenta y podría representar un índice útil del grado de madurez. De hecho, el contenido de sólidos solubles aumenta hasta alcanzar un pico y luego disminuye durante la sobremaduración (Soltani et al 2010). La caída en sólidos solubles totales se debe a la conversión del azúcar de la pulpa en alcohol por el inicio de procesos fermentativos. Salvador et al (2007) informaron en varios estudios que los sólidos solubles variaban de 5,5°Bx en la etapa verde a 18°Bx en la etapa madura completa.

La popularización del consumo de alimentos fritos se debe a que tras el proceso de fritura, los alimentos adquieren unas características únicas de aroma y textura que no es posible conseguir con otras técnicas de procesamiento de alimentos. Además, desde el punto de vista económico han permitido el crecimiento de grandes franquicias de comida rápida y de snack. Por esta razón, se ha relacionado el consumo de alimentos fritos con enfermedades cardiovasculares y degenerativas.

Ácidos grasos

Las grasas están constituidas principalmente por triglicéridos los cuales son ésteres carboxílicos o ácidos grasos con glicerol (Martínez y Gragera 2008). Con algunas excepciones, los ácidos grasos son compuestos de cadena lineal que contienen de 3 a 18 átomos de carbonos. Los ácidos grasos se encuentran en grandes cantidades en cadenas con número par de átomos de carbonos, a excepción de los compuestos de cadena C3 y C5 (Badui 2006).

Presencia de insaturaciones en los ácidos grasos

Los ácidos grasos pueden dividirse en dos grandes grupos: saturados e insaturados. Los saturados están constituidos por enlaces simples carbono-carbono (C-C), conteniendo en su

esqueleto cadenas de entre 4 y 26 átomos de carbono. Las de cadenas de C4 a C8 son líquidos, mientras que los de cadena C10 en adelante son sólidos. Son más estables que los insaturados; sin embargo, en presencia de temperaturas superiores a 180°C tienden a sufrir de reacciones oxidativas. Por otra parte, los ácidos grasos insaturados tienen uno o varios enlaces dobles en sus cadenas. Sus moléculas presentan codos de modo que hay un cambio de dirección donde existe el doble enlace. Por lo general son líquidos a temperatura ambiente. Estos compuestos presentan gran reactividad química debido a que son propensos a la saturación y a reacciones oxidativas. Pueden ser mono y poliinsaturados dependiendo del número de dobles enlaces que poseen. Normalmente presentan doble enlace entre los carbonos 9 y 10 (Badui 2006).

Isomería

Las insaturaciones presentan dos tipos de isomerismo: a) geométrico, en donde un doble enlace puede cambiar de configuración *cis* a *trans*; y b) posicional, según donde sea la localización de la doble ligadura en la cadena de átomos de carbono. En estado natural, la mayoría de ellos son *cis*, mientras que los *trans* se encuentran de dos maneras; ya sea mediante una hidrogenación biológica que transcurre en el estómago de los rumiantes (se genera por la flora microbiana) o por procesos industriales, tales como la hidrogenación industrial, la refinación y la fritura. Cabe indicar que los ácidos grasos *trans* son termodinámicamente más factibles y estables que sus respectivos isómeros *cis*. Las cadenas lineales y rígidas tienen un menor ángulo de la doble ligadura, lo que provoca una asociación y empaquetamiento molecular semejante a un saturado (Badui 2006). A continuación en la Figura 1 la isomerización del ácido oleico al elaídico.

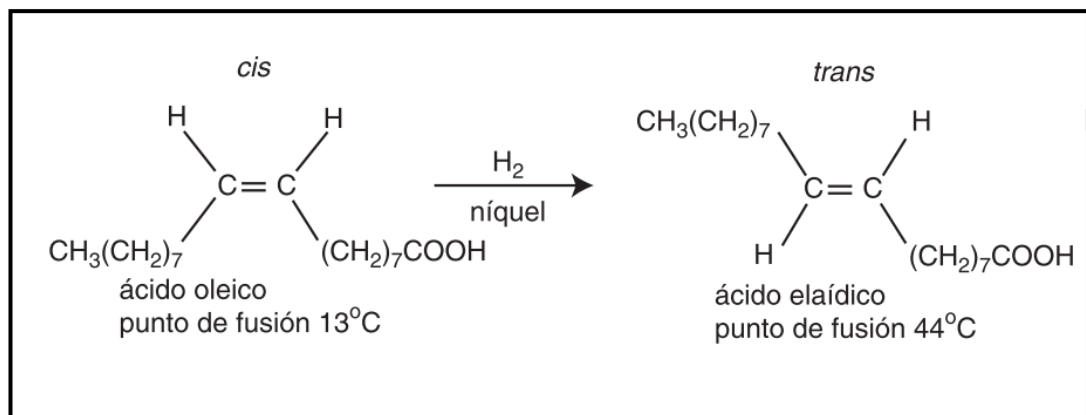


Figura 1. Punto de fusión del ácido oleico (*cis*) y el ácido elaídico (*trans*, hidrogenado comercialmente). (Badui 2006).

Diversos estudios epidemiológicos realizados han determinado que existe una relación entre el consumo elevado de ácidos grasos *trans* con un aumento de riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Esto se debe a que tienen un efecto adverso sobre el perfil lipídico debido a que elevan las concentraciones séricas de los triglicéridos de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de la lipoproteína a [LP(a)]. (Ballesteros et al 2012).

Por otra parte, disminuyen las concentraciones séricas de las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Otros estudios han demostrado que el consumo excesivo de ácidos grasos *trans* pueden afectar en la respuesta inflamatoria y la función endotelial. (Ministerio de agricultura 2011).

Proceso de fritura

El proceso de fritura más usado comercialmente es el freído por inmersión, el cual consiste en sumergir totalmente al producto en aceite o grasa caliente a temperaturas comprendidas entre 150 a 200°C durante cierto período de tiempo y en presencia de aire (fritura abierta). La diferencia de temperatura entre el aceite y el alimento desencadena un proceso de transferencia de calor y de materia, de tal modo que el calor es transferido del aceite al alimento y evapora el agua del mismo (pérdida de masa). Simultáneamente, el aceite va a penetrar en el alimento de modo que se producen una serie de cambios físicos, químicos y nutricionales en el mismo (Bravo 2008). Los cambios químicos y físicos incluyen la gelatinización de almidones, desnaturalización de proteínas, vaporización de agua y formación de corteza (costra). Conforme el proceso de freído se lleva a cabo, también ocurren varios cambios importantes en el aceite circundante. Entre los cambios más importantes destacan el aumento de la viscosidad, la disminución de la tensión superficial y la oxidación de la grasa (Tirado et al 2012). La fritura por inmersión se puede dividir en cuatro etapas: (1) calentamiento inicial, (2) ebullición de superficie del alimento, (3) velocidad decreciente y (4) punto final de la burbuja.

Durante la primera etapa, la superficie de un alimento sumergido en aceite se calienta a una temperatura equivalente a la temperatura de ebullición del agua, la forma de transferencia de calor entre el aceite y el alimento es por convección natural con una duración de 10 segundos y una insignificante pérdida de agua.

En la segunda etapa, se da un cambio de transferencia de calor de convección natural a convección forzada; este cambio se debe a la turbulencia en el aceite que rodea al alimento. El vapor de agua emanado por el alimento impide que el aceite ingrese. En esta etapa, inicia la formación de una corteza en la superficie del alimento.

En la tercera etapa, la temperatura del centro del alimento aumenta lentamente hasta el punto de ebullición del agua. La transferencia de vapor es constante pero va disminuyendo debido a la poca cantidad de agua libre y al engrosamiento de la corteza. En este momento, se dan algunos cambios fisicoquímicos tales como: la gelificación del almidón y la desnaturalización de las proteínas, aumento del espesor de la corteza superficial y disminución de la velocidad de transferencia de vapor en la superficie.

En la etapa final, se observa un decrecimiento en la pérdida de humedad; así como la ausencia de burbujas en la superficie del alimento. La conductividad térmica de la corteza es baja debido a su baja cantidad de agua y a su porosidad (Montes et al 2016).

El efecto de la fritura sobre el valor nutricional de los alimentos depende de las condiciones del proceso. En general, las temperaturas altas contribuyen a que la costra se forme más rápidamente y esto impide, en gran parte, la migración de nutrientes desde el interior del alimento hacia el aceite. Sin embargo, la fritura puede producir la oxidación de vitaminas liposolubles y, por ende, una disminución del valor nutricional del alimento. Además, si el aceite utilizado en la fritura permanece a altas temperaturas durante un lapso de tiempo prolongado, en presencia de oxígeno y agua proveniente del alimento, causa la oxidación del mismo y contribuye a la formación de compuestos volátiles y no volátiles, los cuales resultan ser perjudiciales para la salud teniendo en cuenta que se da la polimerización de aceite (Bravo 2008).

La determinación del perfil lipídico en el plátano maduro frito resulta ser muy relevante para poder identificar el potencial impacto que el consumo de los ácidos grasos tienen sobre la salud. Hay que tener en cuenta que el aceite escogido y las condiciones de fritura (temperatura, tiempo, calidad) influyen en el proceso de degradación del aceite y en la formación de compuestos oxidativos como son los ácidos grasos *trans*. Con estos antecedentes, el presente proyecto busca informar al consumidor de los posibles riesgos de los ácidos grasos presentes en el plátano maduro frito, ya que actualmente están relacionados con varias enfermedades lo cuales pueden llevar a la muerte.

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño Experimental

Para medir cómo influyen los factores temperatura, tiempo y reuso del aceite en el proceso de freído, se realizó un diseño factorial 2^k . A continuación en la Tabla 2 se muestra el diseño experimental con las condiciones de freído utilizadas.

Tabla 2.Diseño Experimental 2^k

Experimento	Diseño Experimental 2^3			Tiempo (min) T (°C) Reuso		
	x1	x2	x3	x1	x2	x3
T1	-	-	-	2	160	1
T2	+	-	-	4	160	1
T3	-	+	-	2	170	1
T4	+	+	-	4	170	1
T5	-	-	+	2	160	5
T6	+	-	+	4	160	5
T7	-	+	+	2	170	5
T8	+	+	+	4	170	5
Cero 1				3	165	3
Cero 2				3	165	3
Cero 3				3	165	3

Freído

Se lo realizó mediante el freído por inmersión, para lo cual se trabajó con plátano maduro tipo barraganete en su forma tradicional. Este producto fue freído con aceite comercial (El Cocinero). Este proceso de simulación de fritura comercial se lo realizó en un equipo de laboratorio construido por los autores. Este equipo consta de un recipiente de aluminio aislado con fibra de corindón y la temperatura de freído fue controlada mediante un termómetro y un medidor de temperatura (control doble). A continuación en la Figura 2 se muestra el esquema del equipo.

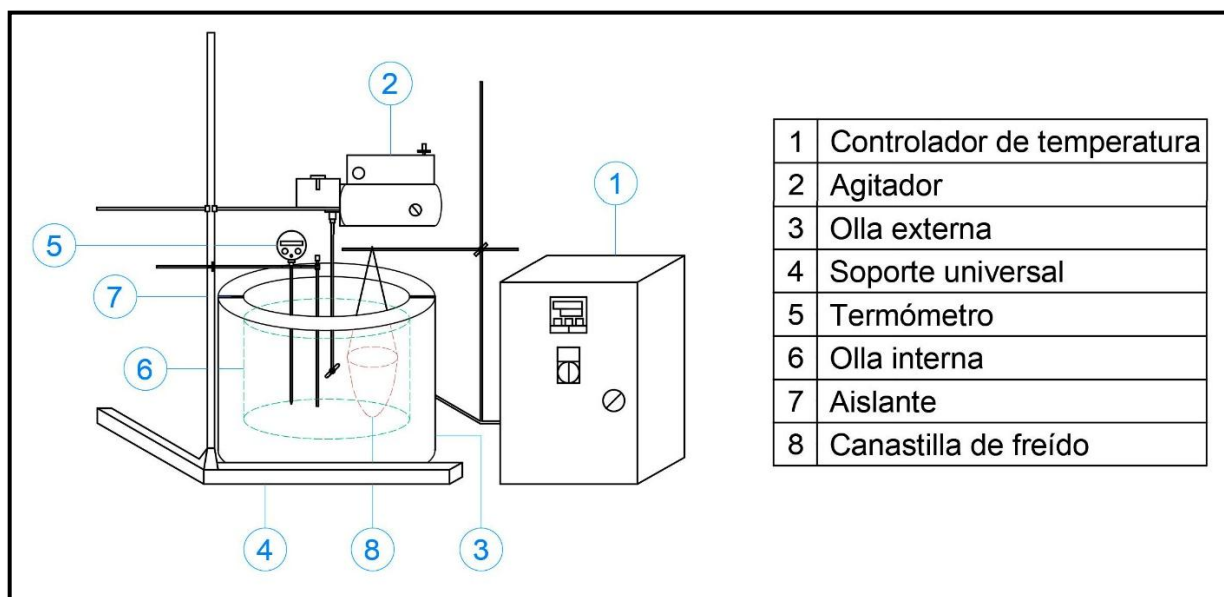


Figura 2. Esquema de equipo de freído.

Estandarización del corte

Para este procedimiento se utilizó un cortador graduable de fabricación comercial marca Tupperware, de modo tal que se obtengan piezas de 3 cm de ancho por 7 cm de largo y 4mm de espesor. El esquema de este proceso de troceado se muestra en la Figura 3.

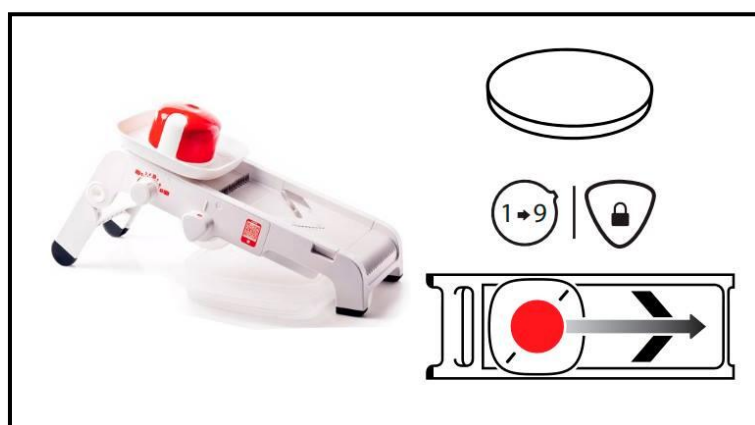


Figura 3. Esquema de mandolina Tupperware®

Extracción de la grasa

Se realizó mediante el método de extracción por solventes, para lo cual se usó éter de petróleo como solvente. La temperatura de trabajo es de 120°C con una cantidad aproximada de 5 gramos de muestra. Para este análisis se hizo uso de una unidad de extracción de solventes serie SER148 marca VELP® SCIENTIFICA, y las condiciones dadas por el fabricante para el trabajo fueron las siguientes: inmersión (60 minutos), lavado (60 minutos) y, recuperado (30 minutos).

Caracterización por cromatografía de gases

La identificación se la realizó en un cromatógrafo marca CARLO ERBA INSTRUMENTS serie HRGC 5300, usando una columna de polimetil silicona como fase estacionaria e hidrógeno como fase móvil. Esta identificación se la realizó en base al método FAME (Methods of preparation of fatty acid methyl esters), donde se procedió a la separación de los patrones en forma de ésteres metílicos de los ácidos grasos (Montpetit 2016). La identificación se la realizó en base al tiempo de retención de los picos aparecidos en la muestra con los patrones disponibles. El tratamiento previo de la muestra consiste en una metilación (transformación de glicéridos y ácidos grasos a ésteres metílicos). Para el análisis se requiere partir de muestras exentas de agua por lo que se parte de la grasa extraída previamente. A continuación en la Figura 4 se muestra el cromatograma de una muestra frita y en la Figura 5 se muestra el cromatograma de patrones.

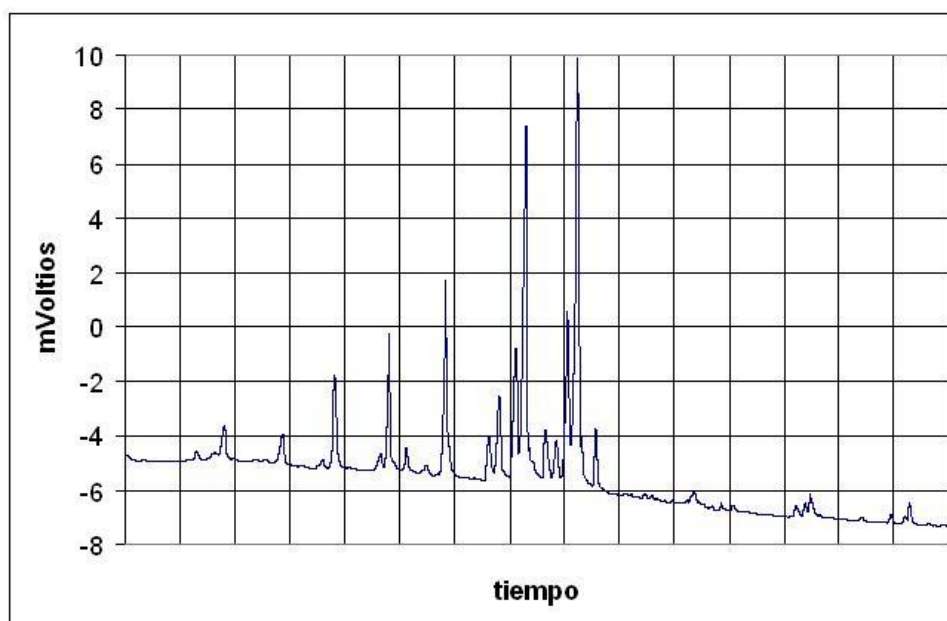


Figura 4. Cromatograma del producto frito

Se utilizó una mezcla de ácidos grasos para cromatografía de la empresa Sigma Aldrich, (Sigma Aldrich 1998) como patrón para la cuantificación.

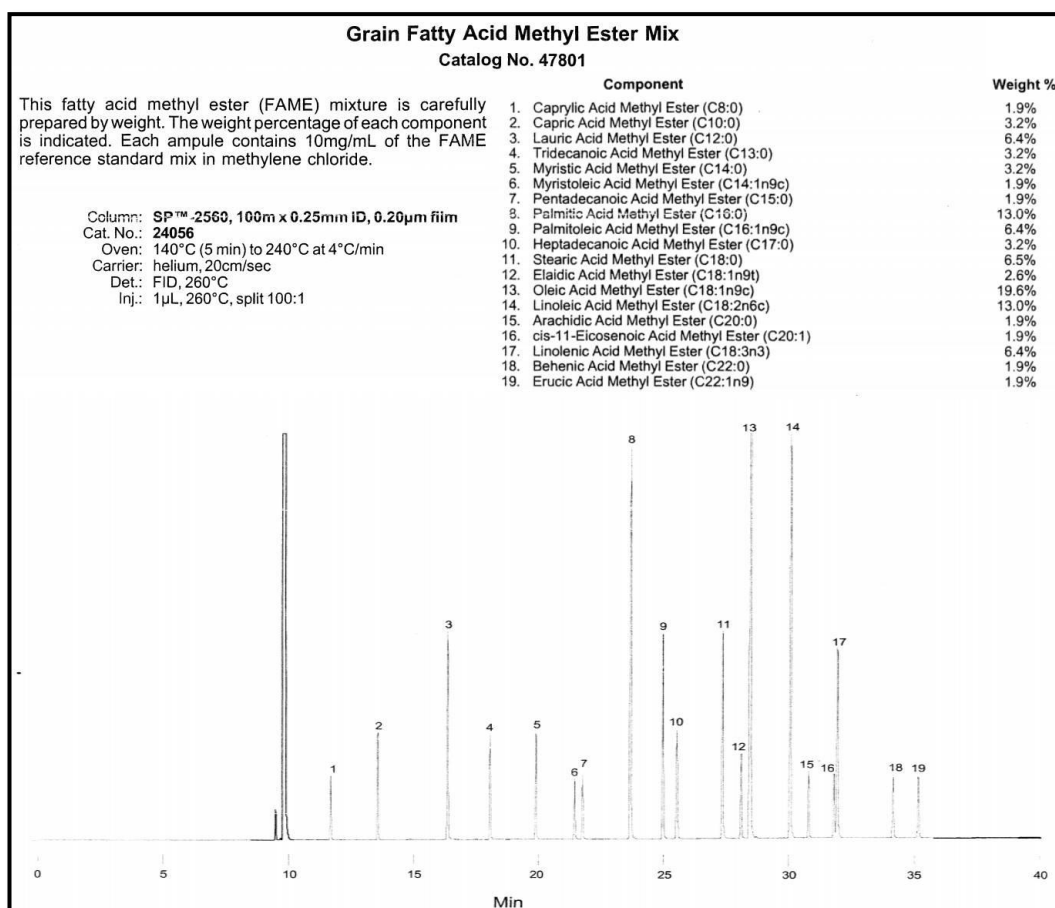


Figura 5. Cromatograma de patrones de ácidos grasos

Cuantificación de ácidos grasos *trans* por espectroscopía de infrarrojo

En cuanto a la espectroscopía de infrarrojo se la realizó en un espectrofotómetro infrarrojo THERMO SCIENTIFIC NICOLET IR 100 FTIR. Se utilizó una celda de cianuro de zinc y una cantidad de muestra de 2 a 3 gotas. El rango de barrido fue de 750 a 1100 cm^{-1} con 32 lecturas. Los espectros se analizaron en absorbancia y el análisis de los datos se lo realizó en el programa OMNIC 7.3. Estos datos fueron cuantificados utilizando el modelo Sherazi (2008). Este método considera el área bajo la curva comprendida en un rango entre 945 a 990 cm^{-1} cuya ecuación esta expresada en porcentaje de ácidos grasos *trans* la cual se muestra a continuación: $\%AGT = -0,15776 + 1,84724 * \text{Área}_{(945-990 \text{ cm}^{-1})}$

Análisis Bromatológico proximal

Dentro de lo que se refiere al análisis bromatológico, este se lo realizó tanto en el producto crudo como en el producto frito. Aquí se cuantificaron las proteínas, humedad, cenizas, fibra y grasa.

Fibra: Se usó el método ácido-base, 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 marca VELP® SCIENTIFICA.

Proteínas: Para este análisis se hizo uso del 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 la unidad de destilación serie UKD129 marca VELP® SCIENTIFICA. La digestión de las proteínas se realizó con 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 por un tiempo de 5 minutos mientras que la titulación se realizó con ácido clorhídrico 0,01329(N).

Humedad: Se empleó un secado a bajas temperaturas, es decir inferiores a 100°C; usando una cantidad aproximada de muestra de 10 gramos. El secado se efectuó durante 8 horas.

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.

Grasa: Se utilizó el método de extracción por solventes descrito previamente.

Estado de maduración del plátano

El estado de maduración se la realizó de forma visual de modo que la humedad relativa (HR) y la temperatura ambiente fueron controladas por un higrómetro. Cabe recalcar que este proceso se lo realizó desde que el plátano estaba en estado verde sacado del racimo hasta que estuvo en un estado de maduración completo; es decir, que la cáscara esté completamente negra. Lo que se pretende con esto es elaborar una ficha de control la cual nos permita orientarnos para elegir el producto maduro.

CAPÍTULO 2: RESULTADOS

Para el desarrollo de los experimentos se tomó como plátano maduro el correspondiente al día once (del seguimiento de maduración visual realizado, presentado en los anexos).

El análisis bromatológico efectuado sobre el plátano verde y maduro, antes del proceso de fritura, se presenta en la Tabla 3. Estos resultados están expresados en unidades porcentuales.

Tabla 3.Resultados bromatológicos de plátano verde y maduro crudo

Parámetro	Plátano verde	Plátano maduro
Humedad	63,76	62,40
Cenizas	3,26	2,95
Proteínas	1,25	1,28
Fibra	1,92	2,04
Grasa	0,61	0,46
Carbohidratos totales	29,2	30,87

* Datos expresados en Base seca

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 4, donde se realizó el análisis de la varianza de los mismos.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \%Trans = & 2,275 + 0,549 \text{ Tiempo} + 0,249 \text{ Temperatura} + 0,734 \text{ Reúso} \\ & + 0,342 \text{ Tiempo*Temperatura} + 0,365 \text{ Tiempo*Reúso} + 0,148 \text{ Temperatura*Reúso} \\ & + 0,369 \text{ Tiempo*Temperatura*Reúso} - 0,660 \text{ Pt Ctral} \end{aligned}$$

Tabla 4. Análisis de Varianza de los factores

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor <i>p</i>
Modelo	8	11,4412	1,4301	12,90	0,074
Lineal	3	7,2250	2,4083	21,72	0,044
Tiempo	1	2,4154	2,4154	21,79	0,043
Temperatura	1	0,4974	0,4974	4,49	0,168
Reúso	1	4,3122	4,3122	38,89	0,025
Interacciones de 2 términos	3	2,1732	0,7244	6,53	0,136
Tiempo*Temperatura	1	0,9340	0,9340	8,42	0,101
Tiempo*Reúso	1	1,0645	1,0645	9,60	0,090
Temperatura*Reúso	1	0,1747	0,1747	1,58	0,336
Interacciones de 3 términos	1	1,0917	1,0917	9,85	0,088
Tiempo*Temperatura*Reúso	1	1,0917	1,0917	9,85	0,088
Curvatura	1	0,9513	0,9513	8,58	0,099
Error	2	0,2217	0,1109		
Total	10	11,6629			

Para determinar la influencia de las variables, se efectuó un diagrama de Pareto presentado la significancia de las variables (Figura 6).

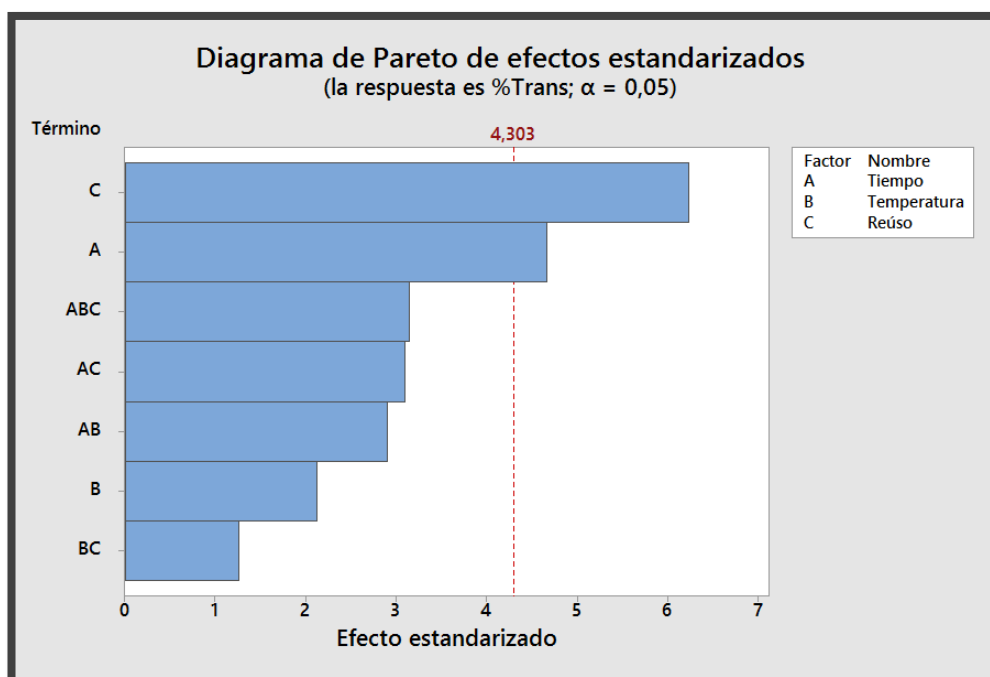
Aceptación = 0,95

Rechazo = 0,025

Grados de libertad = 2

t (Valor crítico) = 4,303

Figura 6. Factores que intervienen en la aparición de ácidos grasos trans.



Para cada uno de los experimentos se determinó el perfil lipídico correspondiente identificándose y cuantificándose los siguientes ácidos grasos: mirístico, esteárico, palmítico, linoleico, linolenico, oleico, palmitoleico y láurico. Este análisis también incluye el perfil lipídico de los aceites usados en el proceso de fritura. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Perfil lipídico del plátano maduro frito y de su aceite usado para el freído.

EXPERIMENTO	MIRISTICO	ESTEARICO	PALMITICO	LINOLEICO	LINOLENICO	OLEICO	PALMITOLEICO	LAURICO
T1	5,22	22,60	22,16	1,10	ND	36,18	12,04	0,71
T2	5,01	20,56	22,98	3,26	ND	35,94	11,22	1,03
T3	3,63	19,33	18,75	9,37	1,12	35,31	11,65	0,84
T4	1,26	22,44	19,50	ND	ND	41,90	14,26	0,64
T5	6,84	28,05	25,16	3,03	ND	27,02	9,26	0,64
T6	6,14	19,90	22,71	7,04	1,30	32,08	10,23	0,59
T7	4,37	23,28	24,16	1,53	ND	34,73	11,25	0,69
T8	6,65	25,50	22,73	1,54	ND	32,34	10,69	0,54
Cero 1	1,73	17,63	17,95	ND	1,07	46,00	14,61	1,01
Cero 2	4,41	28,07	19,87	ND	ND	35,16	11,73	0,78
Cero 3	2,27	21,53	19,69	ND	ND	41,93	13,51	1,07
Aceite 160°C .1Uso	3,44	19,61	20,00	1,10	ND	41,40	13,60	0,86
Aceite 160°C.5Usos	2,80	18,69	24,95	4,89	0,50	36,21	11,23	0,73
Aceite 170°C.1Uso	4,96	20,77	27,66	0,48	ND	34,24	11,22	0,67
Aceite 170°C.5Usos	5,90	17,61	26,49	4,05	ND	34,58	10,78	0,59
Aceite 165°C.3Usos	4,52	23,99	24,63	ND	ND	34,55	11,48	0,83
Aceite Fresco	6,13	20,17	27,17	1,98	1,33	32,48	10,24	0,51

ND= No Detectable

Los análisis bromatológicos del producto frito se realizaron en base al mejor experimento del diseño experimental el cual fue el cero, debido a que este experimento resultó ser el más estable a la temperatura y el tiempo de modo que no se quemaba ni tampoco estaba crudo. Cabe recalcar aquí que el cero del plátano verde se lo realizó con corte tipo patacón el cual fue sometido a un proceso de cocción previo en agua por 30 minutos para luego ser freído a una temperatura de 170°C por 3 minutos, mientras que el cero del plátano maduro se lo realizó con un corte tradicional el cual fue sometido a un proceso de fritura de 165°C por 3 minutos. A continuación se presentan los resultados de los análisis de estos dos experimentos en la Tabla 6. Estos resultados están expresados en unidades porcentuales.

Tabla 6. Resultados bromatológicos de plátano verde y maduro fritos

Parámetro	Plátano verde	Plátano maduro
Humedad	15,08	19,29
Cenizas	1,14	2,08
Proteínas	0,98	1,24
Fibra	1,84	1,92
Grasa	29,07	26,56
Grasas <i>trans</i> **	2,33	2,10
Carbohidratos totales	51,89	48,91

Con los datos obtenidos de los análisis se elaboró una tabla nutricional del plátano maduro frito. La cantidad por porción es de 5g pero la tabla nutricional está expresada en base a 100g de producto. Esta se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Información Nutricional

Tabla Nutricional

Tamaño por porción: 5g

Cantidad por 100g

Calorías: 440 Cal

Calorías de la grasa: 240 Cal

	% Valores Diarios*	
Grasa Total	27g	49%
Grasas Trans	1g	0%
Grasas Saturadas	12g	
Carbohidratos	49g	16%
Fibra Dietética	2g	8%
Azúcar	47g	
Minerales	2g	
Proteína	1g	1%

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

CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN

Con el análisis del diseño experimental se puede observar que en el modelo lineal el factor más influyente en la formación de ácidos grasos *trans* fue el reuso, seguido por el tiempo de

freído. Las interacciones dobles y triples no presentaron ningún efecto significativo. En la Tabla 8 se muestran los resultados antes mencionados. Estos resultados obtenidos colaboran con la literatura ya que de acuerdo a lo expresado por Valenzuela (2003), el reuso del aceite genera productos oxidados y tóxicos, los que a su vez inhiben la conversión metabólica de los ácidos grasos polinsaturados llevando a la producción de ácidos grasos *trans* (Kummerow 2004). Debido a que el proceso de fritura se lo hace en tiempos muy prolongados este producto tiende a sufrir reacciones oxidativas formando compuestos inestables, lo cual influye directamente en la formación de ácidos grasos *trans*. Sin embargo, en este trabajo la temperatura no resulta ser un factor de formación de ácidos grasos *trans*, debido a que este producto no puede ser freído a altas temperaturas por su alto contenido de azúcares los cuales a temperaturas muy elevadas provocan degradación y caramelización de los compuestos del plátano, lo que lleva a la incineración del mismo (García 2014). En consecuencia, las temperaturas usadas durante el diseño experimental están por debajo de la temperatura reportada en la literatura, la cual indica que por encima de 180°C se forman ácidos grasos *trans* de manera significativa a partir de grasas insaturadas y en mayor medida cuando los aceites que se utilizan son relativamente poliinsaturados (Ministerio de agricultura 2011).

En lo que respecta a los análisis bromatológicos en el producto crudo los datos reflejan que tanto en su estado verde como maduro presentaron resultados similares debido a que la composición nutricional del alimento es la misma. Por lo que en la maduración no se observa un cambio significativo de aumento o pérdida de nutrientes. Esto se puede corroborar con los datos presentados en la Tabla 1, donde apenas existe una diferencia de porcentaje y los resultados obtenidos se asemejan a los de esta Tabla. Por otra parte en cuanto a los análisis bromatológicos del producto frito los resultados expresados en el análisis no muestran mayor diferencia entre el estado verde y maduro. De hecho, el único cambio observable que puede llamar la atención es la humedad que varía de 15,08 a 19,29% y la grasa de 29,07 a 26,56% sin embargo la explicación a esto se basa en que el verde antes del freído es sometido a un proceso de cocción en agua por lo que tiene gran inferencia en la eliminación de agua y absorción de aceite en el proceso de freído.

Comparando los resultados bromatológicos del producto crudo y frito se puede observar que existe un gran porcentaje de grasa que migra al producto durante el proceso de fritura elevándose de 0,46 a 26,56% de grasa. Por consiguiente, disminuye considerablemente el porcentaje de humedad (62,40 a 19,29%) por el proceso de ebullición del agua del producto el cual es reemplazado por el aceite en este proceso de fritura.

De acuerdo a los datos obtenidos en el perfil lipídico se ve reflejado que existe una baja cantidad de ácidos grasos insaturados como es el caso del linoleico y linolénico; es más, en el aceite fresco su porcentaje no supera el 2%, estos datos concuerdan con los de la bibliografía ya que de acuerdo a lo expresado por Fillion y Henry (1998), los ácidos grasos insaturados tienden a disminuir durante la fritura del aceite. En el caso del ácido oleico su

porcentaje es alto, pero esto se debe a que este ácido es el predominante en el aceite comercial usado el cual es una mezcla de soya y palma. En lo que respecta a los ácidos saturados los ácidos predominantes fueron el esteárico y palmítico, seguido del mirístico; cuyos datos mostraron muy poca variabilidad entre las muestras y el aceite. Sin embargo, al comparar estos datos con los de los ácidos grasos insaturados se puede ver que existe una superioridad de ácidos grasos saturados, a excepción del láurico, debido a que éste se encuentra mayoritariamente en aceite de coco y palmiste (Mora 2003). Estos resultados concuerdan con la bibliografía ya que los ácidos grasos saturados durante el proceso de fritura se mantienen constantes o aumentan (Suaterna 2009).

CONCLUSIONES

El análisis del diseño experimental permitió identificar 2 variables que están relacionados directamente con la formación de ácidos grasos *trans* en el producto. La primera fue el reúso del aceite para freír, de modo que a mayor cantidad de reusos se formaban más ácidos grasos *trans*, en cuanto a la otra variable resultó ser el tiempo, la cual fue evidente darse cuenta que a mayor tiempo de freído se formaban más ácidos grasos *trans*. Con el mismo análisis del diseño experimental se concluyó que el mejor experimento fue el de las condiciones de 165°C por 3 minutos y 3 reusos.

En el análisis bromatológico muestra que los resultados entre el maduro verde y frito no varían significativamente, por lo que no hay una influencia de la maduración en la ganancia o pérdida de macronutrientes; sin embargo, es evidente darse cuenta que sí existe un cambio del producto después de que este ha sido sometido al proceso de fritura ya que el producto gana aproximadamente un 26% de grasa y pierde aproximadamente un 43% de agua por el freído.

El perfil lipídico refleja que tanto las muestras como el aceite presentan cantidades similares de los ácidos grasos analizados lo que lleva a la conclusión de que los ácidos grasos del aceite usado para el freído se transfieren al producto sin importar las condiciones de fritura.

Aunque ya se sabe que todos los aceites sufren cambios con el proceso de freído, con este proceso de simulación muestra que sin duda se forman compuestos nocivos para la salud, tal es el caso de los ácidos grasos *trans* de modo que estos están presentes en un porcentaje aproximado del 2% del total de la grasa. Esto es de gran importancia ya que los consumidores no parecen estar plenamente conscientes de los peligros de los ácidos grasos *trans* tienen sobre la salud. Con los datos obtenidos de este trabajo se busca que el consumidor se instruya acerca de lo que consume para así lograr disminuir el consumo de estas grasas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldrich Sigma. *Grain Fatty Acid Methyl Ester Mix*. 1998.

Badui, Salvador. *Química de Los Alimentos*. Cuarta edi, Pearson, 2006.

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*, vol. 2727, no. 1, 2012, pp. 54–6454, doi:10.3305/nh.2012.27.1.5420.
- BRAVO VASQUEZ, JUAN EDUARDO. *Contribución Al Estudio de La Fritura Al Vacío: Deshidratación de Rodajas de Manzana*. 2008, pp. 1–173, doi:10.4995/Thesis/10251/3401.
- Casallas, Luisa Fernanda. *EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL BANANO COMÚN (Musa Sapientum L) TRANSFORMADO POR ACCIÓN DE LA LEVADURA Candida Guilliermondii*. 2010, p. 26, <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis605.pdf>.
- Dadzie, B. K., and E. Orchard. “Evaluación Rutinaria Postcosecha de Híbridos de Bananos Y Plátanos : Criterios Y Métodos.” *International Network for the Improvement of Banana and Plantain*, 1997, pp. 1–75.
- Fillion, L., and C. J. K. Henry. “Nutrient Losses and Gains during Frying: A Review.” *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 49, no. 2, 1998, pp. 157–68, doi:10.3109/09637489809089395.
- García, Víctor. “Las Grasas.” *Programa Perseo*, 2014, p. 4, <http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/educanaos/grasas.pdf>.
- Kummerow, F. A., Zhou, Q., Mahfouz, M. M., Smiricky, M. R., Grieshop, C. M. & Schaeffer, D. J. *Trans Fatty Acids in Hydrogenated Fat Inhibited the Synthesis of the Polyunsaturated Fatty Acids in the Phospholipids of Arterial Cells*. 2004.
- MAGAP. *Boletín Situacional Plátano*. 2014, p. 6.
- Martínez, R., & Gragera, R. *Fundamentos Teóricos Y Prácticos de La Histoquímica*. Gráficas M, 2008.
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. *Ácidos Grastos Trans En Los Alimentos: Orientaciones Para Los Operadores*. 2011, http://fiab.es/archivos/documentoMenu/documentomenu_20170706020000.pdf.
- Montes, O. Nicolás, et al. “Absorción de Aceite En Alimentos Fritos.” *Rev Chil Nutr*, vol. 43, no. 1, 2016, pp. 87–91, doi:10.4067/S0717-75182016000100013.
- Montpetit, A., and A. Y. Tremblay. “A Quantitative Method of Analysis for Sterol Glycosides in Biodiesel and FAME Using GC-FID.” *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 93, no. 4, Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 479–87, doi:10.1007/s11746-016-2798-5.
- Mora, Olga. “Ácido Láurico : Componente Bioactivo Del Aceite De Palmiste.” *Palmas*, vol. 24, no. 1, 2003, pp. 79–83.
- Moreira. “Plátano.” *Tablas de Composición de Alimentos*, 2013, pp. 277–78.
- Salvador, A., et al. “Changes in Colour and Texture and Their Relationship with Eating Quality during Storage of Two Different Dessert Bananas.” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 43, no. 3, 2007, pp. 319–25, doi:10.1016/j.postharvbio.2006.10.007.
- 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*, vol. 114, no. 1, Elsevier Ltd, 2009, pp. 323–27, doi:10.1016/j.foodchem.2008.09.058.
- Soltani, M., et al. “Prediction of Banana Quality during Ripening Stage Using Capacitance Sensing System.” *Australian Journal of Crop Science*, vol. 4, no. 6, 2010, pp. 443–47.
- Suaterna, Adriana Cecilia. “La Fritura de Los Alimentos: El Aceite de Fritura: Revisiones.” *Perspect. Nutr. Hum*, vol. 11, no. 1, 2009, pp. 39–53, <http://aprendeonlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/nutricion/article/view/9390/8646>.
- Tirado, Diego., Acevedo, Diofanor., Guzman, luis. *Freído Por Inmersión de Los Alimentos*.

no. February 2016, 2012, p. 80,
https://books.google.com.co/books?id=3TwxnjXcXPcC&pg=PA78&lpg=PA78&dq=parametro+de+calidad+de+la+fritura+por+inmersion&source=bl&ots=olBzMxlvxh&sig=rajJRNjPK7_nXDuvU0kXRhM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjH79Lxh_XaAhXMmVkkHZR1DmsQ6AEIeDAJ#v=onepage&q&f=false.

Valenzuela A, Sanhueza J, Nieto S, Petersen G, Tavella M. "Estudio Comparativo En Fritura de La Estabilidad de Diferentes Aceites Vegetales." *Aceites Grasas*, vol. 53, no. 4, 2003, pp. 568–73, <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/mangeles-aylon-blog.pdf>.

Vallejo, Jaime. *Diseño de Una Planta Procesadora de Plátano (Mussa Paradisiaca Sp) Para La Obtención de Tres Productos En El Sector de Santo Domingo de Los Tsáchilas*. 2012.

ANEXOS

Proceso de maduración del plátano



Día 1

Humedad Relativa= 53%

Temperatura= 21°C



Día 2

Humedad Relativa = 58%

Temperatura= 20°C



Día 3

Humedad Relativa= 55%

Temperatura= 21°C



Día 4

Humedad Relativa= 53%

Temperatura= 20°C



Día 5

Humedad Relativa= 50%

Temperatura= 21°C



Día 6

Humedad Relativa= 50%

Temperatura= 21°C



Día 7

Humedad Relativa= 49%

Temperatura= 21°C



Día 8

Humedad Relativa= 49%

Temperatura= 21°C

Día 9

Humedad Relativa= 45%

Temperatura= 21°C



Día 10

Humedad Relativa= 44%

Temperatura= 21°C



Día 11

Humedad Relativa= 44%

Temperatura= 20°C



Día 15

Humedad Relativa= 52%

Temperatura= 22°C





Día 16

Humedad Relativa= 44%

Temperatura= 22°C

Tabla 8. Porcentaje de ácidos grasos trans en las distintas variables.

Experimento	Tiempo (min)	T(°C)	Reuso	Area	% Trans
T1	2	160	1	0,75	1,22725
T2	4	160	1	0,98	1,65206
T3	2	170	1	0,89	1,48583
T4	4	170	1	1,06	1,79982
T5	2	160	5	1,39	2,40933
T6	4	160	5	1,61	2,81567
T7	2	170	5	1,05	1,78135
T8	4	170	5	2,81	5,03207
Cero 1	3	165	3	0,91	1,52277
Cero 2	3	165	3	0,81	1,33807
Cero 3	3	165	3	1,16	1,98452