UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Determinación del perfil lipídico de la yuca en sus diferentes cortes y su caracterización térmica

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniería en Alimentos

Autor:
Karen Fernanda Inga Guamán

Director:
Msc. Andrés Pérez González

Cuenca - Ecuador

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi Dios; a mi madre, Narcisa Guamán; a mi padre, Fernando Inga; a mis hermanas, María Caridad Inga y Carolina Inga y a mi angelito, Manuel Guamán porque gracias al amor que me han brindado, me han hecho crecer y fortalecer en cada paso que doy y porque sin su esfuerzo y apoyo no hubiese podido lograr mi objetivo de estudiar una carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por haberme sabido guiar a lo largo de mi camino como estudiante y enseñarme a no rendirme.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han hecho confiar en mis conocimientos para seguir estudiando y lograr mi meta de convertirme en ingeniera.

Agradezco a la Universidad del Azuay y a los integrantes de la carrera de Ingeniería de Alimentos por haberme brindado sus conocimientos para crecer profesionalmente y especialmente a mi Director Andrés Pérez por haber creído en mí durante el desarrollo de mi trabajo de titulación y al Dr. Piercosimo Tripaldi que me brindo sus conocimientos acerca de las técnicas aplicadas en este estudio.

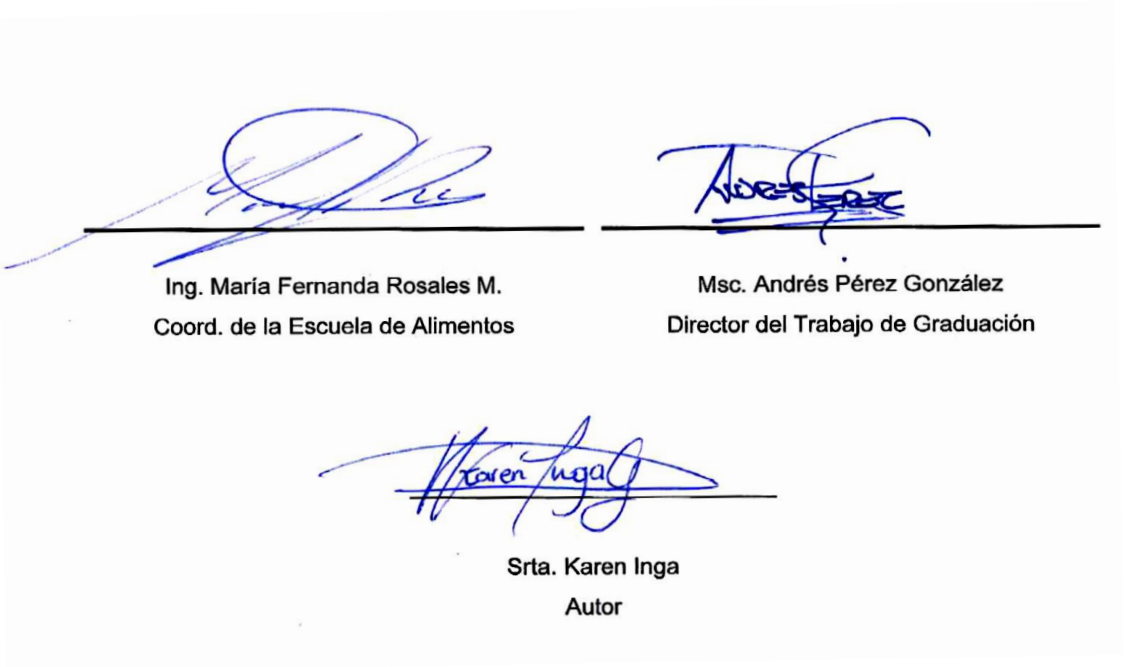
Agradezco a mis amigos más cercanos y compañeros, por todos los momentos de felicidad, malas noches y vergüenzas que hemos pasado, como estudiantes y tesistas, siempre los recordare por la gran ayuda que me han brindado cuando más lo he necesitado.

DETERMINACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DE LA YUCA EN DIFERENTES CORTES Y SU CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

RESUMEN

En el siguiente estudio se determinó el perfil lipídico de la yuca frita en diferentes formas de corte: chips redondas, chips largas y bastones. Se aplicó un diseño experimental factorial 2^3, para evaluar las variables temperatura, tiempo y reúso del aceite, para conocer la influencia sobre la absorción de ácidos grasos durante el proceso de fritura. Dando como resultado que los tres factores influyen significativamente ($p<0,05$) sobre las muestras de chips largas, debido al tipo de corte y que el uso de aceite alto en oleico hace que las muestras presenten un mayor porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados y un bajo contenido de ácidos grasos saturados. La caracterización térmica de la yuca fresca al interaccionar con otros constituyentes presentó una baja temperatura de gelatinización y alta retrogradación, lo que explica una baja estabilidad durante su almacenamiento, y en cuanto a la cristalinidad del almidón esta fue 34,67% por lo que tendría gran utilidad en procesos que requieran bajas temperaturas.

Palabras clave: raíz, chips, almidón, ácidos grasos, gelatinización, cristalinidad.



Ing. María Fernanda Rosales M.
Coord. de la Escuela de Alimentos

Msc. Andrés Pérez González
Director del Trabajo de Graduación

Srta. Karen Inga
Autor

DETERMINATION OF THE MANIOC LIPID PROFILE AND ITS THERMAL CHARACTERIZATION IN DIFFERENT CUTS

ABSTRACT

In this study, the lipid profile of fried cassava was determined in different forms of cutting: round chips, long chips and canes. A 2^3 experimental factorial design was applied to determine the influence on the absorption of fatty acids during the frying process and to evaluate the temperature, time and reuse variables of the oil. As a result, all three factors had a significant influence on the long chip samples ($p < 0.05$). The type of cut and the use of high oleic oil caused the samples to have a higher percentage of monounsaturated fatty acids and a low content of saturated fatty acids. The thermal characterization of fresh manioc when interacting with other constituents presented a low gelatinization temperature and high retrogradation, which explains a low stability during storage. As for the crystallinity of starch, this was 34.67% so it would be very useful in processes that require low temperatures.

Keywords: root, chips, starch, fatty acids, gelatinization, crystallinity.

Ing. María Fernanda Rosales M.
Food Engineering Faculty Coordinator

Msc. Andrés Pérez González
Thesis Director

Karen Inga
Author

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by
Ing. Paúl Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTOS ii

RESUMEN iii

ABSTRACT iv

ÍNDICE DE CONTENIDO v

ÍNDICE DE FIGURAS vii

ÍNDICE DE TABLAS viii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1 3

MARCO TEÓRICO 3

1.1 Yuca (Manihot esculenta) 3

1.2 Utilización de la yuca en la industria 4

1.3 Proceso de Fritura 4

1.4 Isomerización 5

1.5 Cromatografía de gases 6

1.6 Efectos en la salud por el consumo de frituras 6

1.7 Almidón 6

1.8 Características de los componentes del almidón 6

1.9 Propiedades funcionales del almidón 7

1.9.1 Gelatinización 7

1.9.2 Gelificación y retrogradación del almidón 7

1.10 Características del almidón de yuca 7

1.11 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) 8

1.12 Espectroscopía infrarroja 8

CAPÍTULO 2 10

MATERIALES Y MÉTODOS 10

2.1 Materia Prima 10

2.2 Estandarización del corte de la yuca en bastones y chips 10

2.3 Diseño experimental 10

2.4 Freído 11

2.5 Extracción de la grasa 12

2.6 Análisis de cromatografía de gases de esteres metílicos de ácidos grasos (CG-FAME) 12

2.7 Análisis bromatológicos de productos fritos 13

2.7.1 Humedad 13
2.7.2 Grasa 14
2.7.3 Fibra 14
2.7.4 Cenizas 14
2.7.5 Carbohidratos totales 14
2.8 Obtención del almidón de yuca mediante molienda húmeda 14
2.9 Análisis Físicos 15
2.9.1 Granulometría del Almidón 15
2.9.2 Humedad 15
2.10 Comportamiento Térmico 15
2.10.1 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) 15
2.10.2 Cristalinidad del almidón de yuca mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) 16
CAPÍTULO 3 17
RESULTADOS 17
3.1 Composición de ácidos grasos del aceite virgen. 17
3.2 Composición de ácidos grasos de las muestras de yuca frita. 17
3.3 Análisis estadístico de la influencia de los factores en el proceso de freído 19
3.4 Análisis bromatológicos de las muestras de yuca frita 22
3.5 Análisis físicos 23
3.5.1 Granulometría del almidón y humedad del almidón. 23
3.6 Caracterización térmica del almidón de yuca y de la yuca cruda por DSC. 23
3.7 Cristalinidad del almidón de yuca 24
CAPÍTULO 4 26
DISCUSIONES 26
4.1 Composición de ácidos grasos 26
4.2 Análisis estadístico de la influencia de los factores que influyen en el proceso de fritura, sobre la absorción de AG en las muestras de yuca. 27
4.3 Caracterización térmica 28
CONCLUSIÓN 30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de calor DSC con sistema de medición de torre..... 8
Figura 2. Picadora manual de papas y rebanador manual de mandolina ajustable..... 10
Figura 3. Esquema del freidor utilizado y sus partes. 12
Figura 4. Cromatograma del patrón de esteres metílicos de ácidos grasos utilizado. 13
Figura 5. Diagrama de extracción de almidón de yuca..... 15
Figura 6. Cromatograma de los esteres metílicos de los ácidos grasos 19
Figura 7. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras CL. 21
Figura 8. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras CR. 22
Figura 9. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras BF. 22
Figura 10. Distribución del tamaño de partículas del almidón de yuca tamizado. 23
Figura 11. Termogramas de DSC del almidón de yuca, de yuca cruda y yuca cruda en agua y aceite. 24
Figura 12. Espectro FT-IR del almidón de yuca (AY2100) y arreglo gaussiano (GAUSS). 25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de la yuca o mandioca. 3
Tabla 2. Condiciones para el diseño experimental de la yuca frita (Bastones y Chips). 11
Tabla 3. Matriz del diseño factorial 2^3 con 3 réplicas. 11
Tabla 4. Caracterización del aceite comercial usado. 17
Tabla 5. Composición de ácidos grasos de las muestras de chips largas (CL). 17
Tabla 6. Composición de ácidos grasos de las muestras de chips redondas (CR). 17
Tabla 7. Composición de ácidos grasos de las muestras de bastones de yuca frita (BF). 18
Tabla 8. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de CL 19
Tabla 9. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de CR. 20
Tabla 10. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de BF. 20
Tabla 11. Análisis bromatológico de la yuca fresca y muestras de yuca frita. 22
Tabla 12. Características térmicas del almidón de yuca y las interacciones de la yuca cruda en agua y aceite. 24
Tabla 13. Análisis bromatológico de la yuca fresca. 26
Tabla 14. Porcentajes de los ácidos grasos de la muestra de aceite virgen, aceites vegetales, mezclados y altos en oleico. 27

Karen Fernanda Inga Guamán
Trabajo de titulación
Msc. Andrés Pérez González
Diciembre, 2019

Determinación del perfil lipídico de la yuca en diferentes cortes y su caracterización térmica

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se utilizó uno de los tubérculos más cultivados y con alta demanda dentro del país, el cual es utilizado en gran parte por la industria de alimentos. Esta raíz es conocida con el nombre tradicional de yuca (*Manihot esculenta)*, considerada como la cuarta fuente de energía después del maíz, la caña de azúcar y el arroz por su alto contenido de almidón. Sin embargo, es consumido mayormente por las zonas más vulnerables del país, quienes aprovechan las ventajas de este cultivo para generar ingresos con su comercialización, por el cual se lo ha denominado como un alimento de seguridad alimentaria según la FAO (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Debido a su alta producción en el país, su cultivo ha sido designado para consumo humano y animal, el cual se comercializa como producto fresco o deshidratado; aunque para procesos tecnológicos se la utiliza para la producción de harinas y almidón (Muñoz, Hinostroza, & Mendoza, 2017). Además, con el tiempo se ha vuelto muy importante para la comida tradicional del Ecuador en donde se la prepara hirviéndola en agua y en ciertos casos friéndola. Por esta razón, la industria le ha dado un valor agregado a la yuca para la producción de productos fritos o snacks que tienen una problemática debido a que en el proceso de fritura se utilizan aceites parcialmente hidrogenados que son altos en ácidos grasos saturados y grasas trans, los cuales pueden ser absorbidos por el alimento durante la transferencia de masa que existe en el freído y ser ingeridos mediante su consumo provocando un aumento de los niveles del lipoproteínas de baja densidad LDL o colesterol malo en la sangre, ocasionando enfermedades cardíacas en las personas (Cabezas, Hernández, & Vargas, 2016).

Pese a que el almidón es importante para la elaboración de diferentes productos, no existe información sobre las propiedades térmicas de la yuca cruda cuando se somete a procesos de cocción con diferentes constituyentes, el cual es importante debido al manejo de la materia prima dentro de la industria.

Por el cual, el objetivo principal de este estudio fue determinar el perfil lipídico de yuca frita en forma de chips y bastones, mediante cromatografía de gases, aplicando un diseño experimental para conocer la influencia de los factores temperatura, tiempo y reúso del aceite sobre el material graso absorbido en el alimento durante el proceso de fritura. Dado que el alto consumo de productos fritos es perjudicial para salud de las personas.

Además de conocer la caracterización térmica de la yuca fresca y su almidón; para el levantamiento de información de los cambios de las propiedades funcionales de la yuca que sufre al interaccionar con otros constituyentes.

CAPÍTULO 1
MARCO TEÓRICO

1.1 Yuca (Manihot esculenta)

La yuca conocida científicamente como *Manihot esculenta* o llamada también mandioca o cassava. Es un arbusto leñoso perenne que pertenece a la familia de las Euforbiáceas (Ospina & Ceballos, 2002). Se cree que es originaria de América del Sur y Caribe, y que inicialmente fue cultivada en Brasil. Es la cuarta fuente de energía más importante después del maíz, la caña de azúcar y el arroz por su alto contenido de hidratos de carbono en forma de almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007), y lo consideran un cultivo de gran relevancia como el trigo (Ospina & Ceballos, 2002)

Dentro de esta especie existen dos tipos de yuca la amarga y la dulce; denominadas *Manihot utilissima y aipi*, respectivamente. Como dato histórico se conoce que las tribus antiguas cultivaban este alimento para la supervivencia, debido a que la yuca resiste diferentes condiciones de humedad, temperatura en los trópicos cálidos y húmedos. Además, este cultivo crece en suelos fértiles, ácidos y con largos periodos de sequía y su cosecha tiene un ciclo de 7 a 12 meses, sin depender de una temporada del año. Por lo tanto, es considerado como un alimento de seguridad alimentaria para la gente de las zonas rurales, ya que viven de su producción. De acuerdo a la fertilidad del suelo en el que se siembre puede generarse glucósidos cianógenos generalmente linamarina, el cual le otorga a la raíz un sabor amargo (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Los agricultores designan su variedad a partir de una característica propia de la planta, por ejemplo, se le denomina “blanca” o “amarilla”, según el color de su epidermis y “negra”, por el color de su tallo (Velastegui, 1992). Mientras que para fines alimentarios se lo clasifica para consumo humano directo o como materia prima para procesos tecnológicos para la obtención de almidón, harina, alcohol, entre otros (Aristizábal & Sánchez, 2007).
El valor nutricional de la yuca se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Valor nutricional de la yuca o mandioca.

Composición nutritiva media (100 gramos de base seca)	
Valor energético (kcal)	132.0
Agua (%)	65.2
Proteína (%)	1.0
Grasa (%)	0.4
Carbohidratos totales (%)	32.8
Fibra (%)	1.0

Cenizas (%)	0.6
Calcio (mg)	40.0
Fósforo (mg)	34.0
Hierro (mg)	1.4
Tiamina (mg)	0.05
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.60
Ácido ascórbico (mg)	19.0
Porción no comestible (%)	32.0

Fuente: (Fretes & Mendoza, 2010).

1.2 Utilización de la yuca en la industria

La yuca en el Ecuador es un alimento destinado para el consumo humano y animal. En el caso de la industria alimentaria principalmente se la utiliza para la elaboración de harina y almidón (Muñoz et al., 2017). Este último tiene más énfasis debido a sus propiedades que son útiles para elaborar productos fermentados, de panadería, repostería y pastelería o para uso culinario (Ospina & Ceballos, 2002). Otra alternativa es la exportación de la yuca fresca o deshidratada a países como Estados Unidos, Colombia, Puerto Rico y Países europeos (Serna, Ponce, & Oña, 2009).

El consumo de la yuca en nuestro país es muy importante en la comida tradicional, comúnmente su preparación consiste en pelar su cáscara, lavar su pulpa y hervirla en agua entre 10 a 40 minutos para poderla consumir (Ospina & Ceballos, 2002), pero para darle una mejor textura y sabor se la puede freír. Es por eso que, con este antecedente la industria utiliza esta materia prima para la elaboración de productos fritos o snacks.

1.3 Proceso de Fritura

La fritura es un método de preparación de los alimentos que consiste en colocar un alimento en inmersión con aceite previamente calentado a temperaturas de 160 a 180°C o mayores a 200°C, ejerciendo cambios en las propiedades químicas y físicas del aceite comestible provocando una alteración en las características organolépticas y nutritivas del alimento (Badui, 2006).

Los cambios del aceite durante el proceso de fritura se deben a la exposición a temperaturas elevadas junto con la presencia de oxígeno y la humedad del alimento, motivo por el cual se desencadena reacciones de oxidación, hidrolisis y termo-oxidación. Dando como resultado compuestos oxidados y poliméricos los cuales se generan por la presencia de ácidos grasos insaturados (AGI) en el aceite o por las interacciones con compuestos de los alimentos, formando hidroperóxidos, radicales libres, entre otros. Por otro lado, en la hidrólisis de los triacilglicéridos,

se originan ácidos grasos libres (AGL), mono y diglicéridos, además de la acroleína que es una sustancia volátil y tóxica. Mientras que la degradación térmica, provoca la vaporización de compuestos volátiles, los cuales le brindan el olor característico a fritura al alimento (Badui, 2006; Morales, Cameán, & Repetto, 2012).

Por otra parte, la calidad y estabilidad oxidativa del aceite se ve afectada por los compuestos que están presentes en los alimentos que generan cambios físicos, tales como la formación de espuma, oscurecimiento, incremento de la viscosidad, reducción de su capacidad calorífica, tensión superficial, entre otros (Chow, 2007).

No obstante, este proceso provoca la deshidratación del alimento proporcionándole una textura crujiente, debido a la transferencia de calor y masa del aceite hacia el alimento, como la eliminación de agua del producto hacia el aceite (Chow, 2007), que quiere decir, que todos los componentes presentes en el aceite pasan al alimento durante esta etapa y pueden ser ingeridos. Es por eso que hay que tomar en cuenta la renovación del aceite, ya que el tiempo que se ve expuesto durante la fritura de nuevas proporciones de alimento, el aceite se va deteriorando (Morales et al., 2012).

1.4 Isomerización

Los aceites de fritura pasan por procesos de refinamiento e hidrogenación parcial para evitar su autooxidación debido al contenido de AGI (O'Brien, 2004). Pero al modificar o transformar la grasa para mejorar su estabilidad oxidativa las configuraciones *cis* de los dobles enlaces de los AGI provoca la isomerización geométrica *trans* o la isomerización posicional dentro de la cadena de átomos de carbonos, además de la saturación de los dobles enlaces (Badui, 2006).

Por ejemplo, la oleína de palma es uno de los más usados para la industria de alimentos debido a su alta producción (Chow, 2007), sus características físicas y su composición de ácidos grasos palmítico (C16:0) y oleico (C18:1), los cuales le confieren una alta estabilidad oxidativa para soportar procesos térmicos como la fritura industrial (Badui, 2006), al contrario de los aceites menos estables como la soya que tiene un alto contenido de ácido linoleico (C18:2), pueden generar ácidos grasos trans (AGT) durante su refinación (desodorización) en 1% o en su hidrogenación entre 10 a 30%. De modo que se han buscado alternativas como el fraccionamiento o la interesterificación para mejorar el sabor y la estabilidad oxidativa del aceite, como la disminución del desarrollo de AGT durante su modificación (Chow, 2007).

Por ende, para la identificación de los AG o compuestos oxidativos que se forman durante el proceso térmico, se utilizan métodos analíticos como la cromatografía de gases (CG), en la cual

se realiza una conversión de los lípidos extraídos a esteres metílicos de ácidos grasos (FAME), con el motivo de mejorar su volatilidad (Park & Goins, 1994).

1.5 Cromatografía de gases

La técnica tiene como objetivo separar los componentes de una mezcla, mediante la elución de la muestra dentro de la columna cromatográfica con la ayuda de un gas portador. Dichos analitos son identificados por un detector que entrega como resultado un cromatograma que se registra en un ordenador en forma de picos (Daniel. C. Harris, 2016), los cuales son medidos de acuerdo al tiempo recorrido con respecto a la amplitud a la que son detectados, ya que el área y la altura de los picos están relacionados con la concentración de los componentes a cuantificar.

1.6 Efectos en la salud por el consumo de frituras

Las grasas trans a pesar que son un tipo de AGI actúan similar a las grasas saturadas, las cuales aumentan el colesterol LDL plasmático que provoca enfermedades coronarias, sobrepeso, cáncer, entre otros, debido al consumo de alimentos hidrogenados, fritos y horneados. No obstante, los alimentos ricos en ácidos grasos monoinsaturados AGM o poliinsaturados AGPs como el Omega 3 y 6 aumentan la concentración de las lipoproteínas de alta densidad HDL que reducen el colesterol malo (Cabezas et al., 2016). Por este motivo, las organizaciones han establecido reglamentos a la industria alimentaria el poder proveer productos con menos grasas saturadas y libres de AGT, por la razón de que un incremento del 2% de AGT podría aumentar en un 23% la incidencia a padecer enfermedades coronarias (Holger, Montilla, Alfonso Pérez, & Rodríguez, 2011).

1.7 Almidón

Estructuralmente, el almidón está formado por amilosa, que es un polímero lineal formado por unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α-D-(1→4) y por amilopectina, que es un polímero ramificado formado por cadenas lineales de 15 - 25 unidades de glucosa α-D-(1→4), unidas por enlaces α-D-(1→6) (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)**.**

1.8 Características de los componentes del almidón

La amilosa por su estructura lineal en el periodo de retrogradación forma películas fuertes y opacas, debido a su solubilidad en agua caliente que tiende a aumentar el volumen de los gránulos de almidón hasta que este se enfrié, formando complejos insolubles con moléculas orgánicas que hacen que se cristalice. En cambio, la amilopectina se caracteriza por ser estable en soluciones, además de la suavidad y la claridad del gel no presenta retrogradación durante su almacenamiento (Aristizábal & Sánchez, 2007).

1.9 Propiedades funcionales del almidón

1.9.1 Gelatinización

El almidón es insoluble en agua, pero cuando se lo solubiliza en soluciones acuosas esta forma puentes de hidrogeno con los grupos hidroxilo de las cadenas de amilosa. Sin embargo, cuando a la suspensión coloidal se le transmite calor el orden molecular entre la amilosa y amilopectina cambia, ya que se destruyen los puentes de hidrogeno de las moléculas permitiendo que el agua sea absorbida por los gránulos en sus zonas amorfas dejando a que se hinchen y aumenten su volumen hasta el punto máximo de viscosidad (Aristizábal & Sánchez, 2007).

En cuanto a esto, el proceso es irreversible, ya que cuando se alcanza la temperatura de gelatinización o la temperatura de transición vítrea (Tg), el gránulo habrá perdido la birrefringencia e incrementado su tamaño en un intervalo de tiempo. Y esto depende de la fracción amorfa del almidón, ya que la cristalinidad de este se pierde al formar la pasta viscosa (Aristizábal & Sánchez, 2007; Hernández Medina et al., 2008).

1.9.2 Gelificación y retrogradación del almidón

La etapa de gelificación del almidón se da cuando la amilosa en suspensiones acuosas se calienta a altas temperaturas y forma un gel, el cual si se deja enfriar a temperatura ambiente retrograda haciendo que pierda solubilidad y precipite, incluso que las moléculas de amilosa se contraigan formando un gel rígido e reversible, o también que la amilosa y las cadenas lineales de la amilopectina recristalicen, por lo que las pastas sufren sinéresis y una caída en su viscosidad (Aristizábal & Sánchez, 2007; Badui, 2006; Tako, Tamaki, Teruya, & Takeda, 2014). Por eso es necesario conocer el porcentaje de amilopectina, ya que es crucial en la textura de los productos horneados, fritos o extruidos (Sandoval Aldana, Rodríguez Sandoval, & Fernández Quintero, 2005)

De modo que para conocer las características del almidón se usa métodos calorimétricos que estudian las modificaciones estructurales, transiciones de fases, como las interacciones con otros constituyentes (Sandoval Aldana et al., 2005), además de la espectroscopía infrarroja que ayuda a conocer una propiedad funcional del almidón en cuanto a su cristalinidad (Sun et al., 2014).

1.10 Características del almidón de yuca

En el caso del almidón de yuca que es usado en la industria de alimentos, contiene un 18% de amilosa y 82% de amilopectina, y entre las características del gránulo varia su tamaño entre 5 a 35 micras, y su temperatura de gelatinización se encuentra entre 51 a 65°C (Badui, 2006).

1.11 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Según el principio de flujo de calor, es una técnica termoanalítica, que mide el intercambio de calor que existe entre una muestra y una referencia que se encuentran sujetos a un mismo programa de temperatura (Höhne, Hemminger, & Flammersheim, 2003). Y esto es posible mediante un sistema de medición pequeño (Figura 1) que consiste en colocar en el mismo horno un recipiente con la muestra (mg) y el otro con la referencia de peso conocido o vacío, para que se mantengan a la misma temperatura mientras se calientan durante el experimento, y el equipo registra la diferencia de calor que existe entre ambas, (Kaletunç, 2009; Lacerda et al., 2008) para así poder determinar la temperatura y la entalpía de las transiciones de fases del material en estudio.

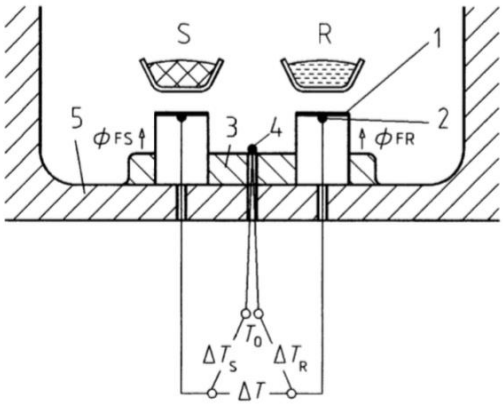


Figura 1. Flujo de calor DSC con sistema de medición de torre: S, muestra; R, referencia; 1, plataforma para la muestra y referencia; 2, termopar; 3, base; 4, termocupla; 5, horno; ΔT, instrumento para medir la diferencia de temperatura.
Fuente: (Höhne et al., 2003).

1.12 Espectroscopía infrarroja

Es una técnica que estudia la interacción que sucede entre la luz infrarroja y la materia, la cual se mide en unidades de absorbancia, es decir, la radiación electromagnética que es absorbida por la muestra se relaciona con la concentración del analito en la muestra, y esto es posible, aplicando la Ley de Beer que explica que el área del espectro es proporcional a la concentración del compuesto que se ha identificado a partir de su grupo funcional a una de longitud de onda o número de onda en cm^{-1} (Smith, 2011).

Por esta razón es que la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), ha sido una alternativa para cuantificar el porcentaje de cristalinidad relativa del almidón, ya que, en el estudio de (Sun et al., 2014) se muestra que existen unas bandas de absorción entre 1300-800 $cm^{-}1$ la cual está relacionada con la fase cristalina y amorfa del almidón, y solamente se aplica si

existe una banda de referencia (KBr) y una banda de sonda del material (almidón) para poder calcular.

CAPÍTULO 2
MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia Prima

Las muestras que se utilizaron para el estudio fueron recogidas en el Mercado 27 de febrero de la ciudad de Cuenca, estas fueron traídas de la región oriental del Ecuador. Para su preparación se las descortezo manualmente junto con su cáscara y corteza de color rosado, sin producir cortes en la pulpa blanca, y finalmente, se lavó para retirar los residuos presentes en la superficie. El aceite comercial utilizado para el proceso de freído, fue de la marca Cocinero que se expende en los supermercados de la ciudad de Cuenca.

2.2 Estandarización del corte de la yuca en bastones y chips

Para la estandarización del tamaño de las yucas fritas tipo bastones se utilizó una picadora manual de papas que contiene una cuchilla de 8 x 8 cm dividida en 6 partes que dio cortes de tamaño de 1,2 a 1,2 ± 0,2 cm de espesor, luego se seleccionaron los cortes más uniformes y con la ayuda de un calibrador y un cuchillo se ajustó el largo de cada muestra a 6 cm.

Para las chips de yuca se utilizó un rebanador de mandolina ajustable, en donde, se rebanó manualmente la yuca en forma de rodajas redondas y rectangulares a un espesor de 1,5 ± 0,2 mm.

Figura 2. Picadora manual de papas y rebanador manual de mandolina ajustable.

2.3 Diseño experimental

Para analizar la influencia del proceso de fritura sobre la yuca, y analizar su perfil lipídico, se utilizó un diseño factorial 2^3, de dos niveles y tres factores, con tres réplicas en el punto central. Las variables que influyen en el proceso de freído: tiempo, temperatura y el número de reúsos del aceite fueron los factores seleccionados, y los niveles utilizados en el diseño se presentan en

la Tabla 2. En la Tabla 3, se muestra el diseño experimental definido que se aplicó en los bastones y chips de yuca.

Tabla 2. Condiciones para el diseño experimental de la yuca frita (Bastones y Chips).

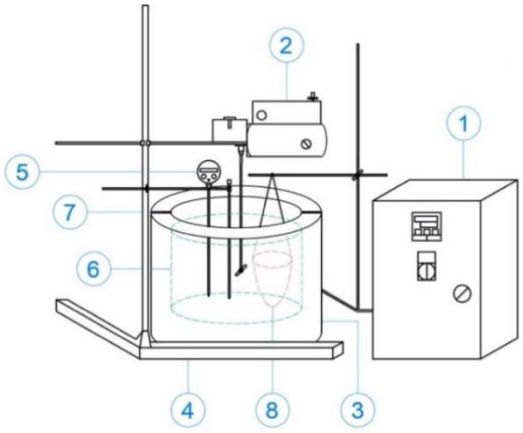
Forma de la yuca frita	Bastón			Chips		
Variables	Temperatura (°C)	Tiempo (seg)	Reúso	Temperatura (°C)	Tiempo (seg)	Reúso
Mínimo	160	360	1	160	100	1
Óptimo	170	300	5	170	80	5
Máximo	180	240	10	180	60	10

Tabla 3. Matriz del diseño factorial 2^3 con 3 réplicas.

Experimento	Temperatura	Tiempo	Reúso
1	1	1	1
2	-1	1	1
3	1	-1	1
4	-1	-1	1
5	1	1	-1
6	-1	1	-1
7	1	-1	-1
8	-1	-1	-1
R1	0	0	0
R2	0	0	0
R3	0	0	0

2.4 Freído

Previo a la etapa de freído los bastones y las chips fueron sometidos a 10 y 2 minutos de escaldado, respectivamente a una temperatura de ebullición que oscilaba entre los 84°C, y posteriormente se escurrieron y se secaron las muestras con papel absorbente. Seguidamente, en la etapa de freído se trabajó con las condiciones establecidas y diseño experimental de la Tabla 2 y 3, utilizando una freidora que consta de una olla, con una canastilla adaptada a un soporte que sostiene el agitador y el controlador de temperatura del aceite (Figura 3). Y se frieron las porciones de yuca de cada diseño con 1L de aceite, para el respectivo estudio.



1	Controlador de temperatura
2	Agitador
3	Olla externa
4	Soporte universal
5	Termómetro
6	Olla interna
7	Aislante
8	Canastilla de freído

Figura 3. Esquema del freidor utilizado y sus partes.

2.5 Extracción de la grasa

La extracción se realizó por el método oficial AOAC 963.15 para la determinación de la grasa total en carne, pescado, cacao y sus derivados, que se basa en la técnica de Randall (AOAC, 2012), realizado en un equipo de la marca VELP SCIENTIFICA de la serie SER 148 (VELP, 2006b).

2.6 Análisis de cromatografía de gases de esteres metílicos de ácidos grasos (CG-FAME)

Para el análisis de los ácidos grasos se utilizó el método FAME (Fatty Acid Metyl Ester) que consiste en una reacción de transesterificación de los AG en frío. La preparación de los FAME se pesó en una botella 0,1g del extracto lipídico y se le adiciono 2 ml de n-Hexano y 0,5 ml de KOH + CH3OH, se agitó por 1 min y se dejó esterificar a 4ºC por 10 minutos.

Los FAME obtenidos fueron cuantificados en un cromatógrafo de gases de la marca CARLO ERBA INSTRUMENTS serie HRGC 5300 con detector de llama y columna capilar de polimetil silicona (100 m x 0,25 mm ID, 0,20 µm film), como fase estacionaria. La fase móvil fue H_2. La temperatura del horno se programó de 140ºC por 5 min y a una rampa de 3,5ºC/min a 240ºC, en un rango de 3 y una amplitud de 0. La inyección se realizó con 5 µL de muestra esterificada.
Para identificar los FAME se utilizó un patrón FAME Mix C4 – C24, 10mg de Sigma Aldrich EE.UU. Los cromatogramas se registraron en el software de LabVIEW 2019 de NATIONAL INSTRUMENTS en base al tiempo y amplitud, y las áreas de los picos fueron calculados en el con la ayuda del software Origin 8.0 de OriginLab Corp.

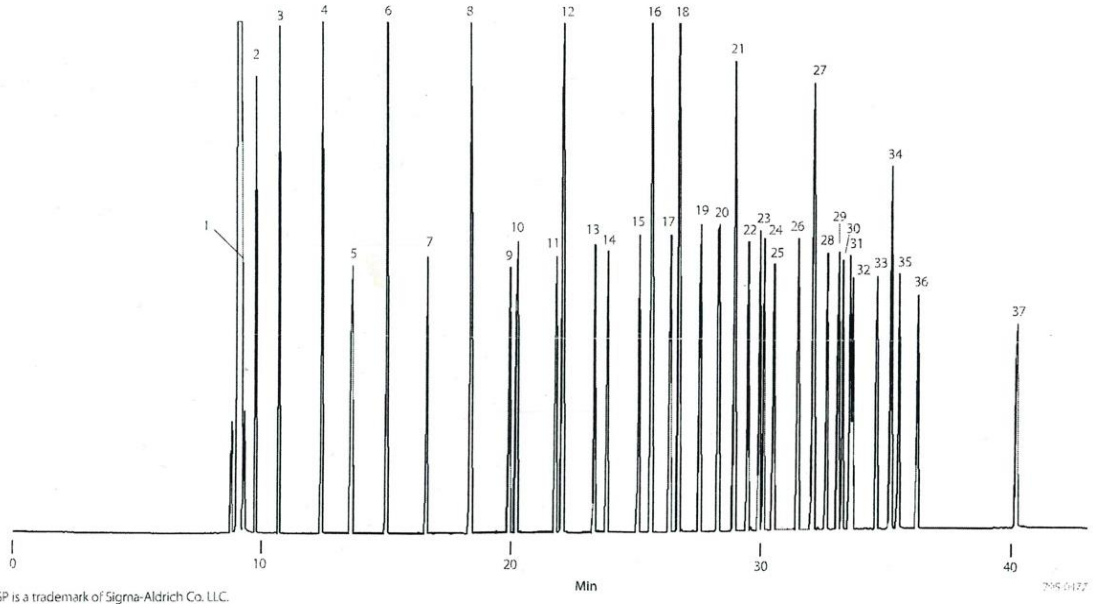
FAME Mix C4 - C24, 100 mg Neat
Catalog No. 18919-1AMP

This fatty acid methyl ester (FAME) mixture is carefully prepared by weight. The weight percentage of each component is indicated.

column: **SP™-2560, 100 m x 0.25 mm I.D., 0.20 µm film, 24056**
oven: 140 °C (5 min) to 240 °C at 4 °C/min
carrier gas: helium, 20 cm/sec
det.: FID, 260 °C
inj.: 1 µL, 260 °C, split 100:1
sample: Dilute to 10 mg/mL in methylene chloride

	Component	Weight %
1.	Butyric acid methyl ester (C4:0)	4%
2.	Caproic acid methyl ester (C6:0)	4%
3.	Caprylic acid methyl ester (C8:0)	4%
4.	Capric acid methyl ester (C10:0)	4%
5.	Undecanoic acid methyl ester (C11:0)	2%
6.	Lauric acid methyl ester (C12:0)	4%
7.	Tridecanoic acid methyl ester (C13:0)	2%
8.	Myristic acid methyl ester (C14:0)	4%
9.	Myristoleic acid methyl ester (C14:1)	2%
10.	Pentadecanoic acid methyl ester (C15:0)	2%
11.	cis-10-Pentadecenoic acid methyl ester (C15:1)	2%
12.	Palmitic acid methyl ester (C16:0)	6%
13.	Palmitoleic acid methyl ester (C16:1)	2%
14.	Heptadecanoic acid methyl ester (C17:0)	2%
15.	cis-10-Heptadecenoic acid methyl ester (C17:1)	2%
16.	Stearic acid methyl ester (C18:0)	4%
17.	Elaidic acid methyl ester (C18:1n9t)	2%
18.	Oleic acid methyl ester (C18:1n9c)	4%
19.	Linolelaidic acid methyl ester (C18:2n6t)	2%
20.	Linoleic acid methyl ester (C18:2n6c)	2%
21.	Arachidic acid methyl ester (C20:0)	4%
22.	γ-Linolenic acid methyl ester (C18:3n6)	2%
23.	cis-11-Eicosenoic acid methyl ester (C20:1)	2%
24.	Linolenic acid methyl ester (C18:3n3)	2%
25.	Heneicosanoic acid methyl ester (C21:0)	2%
26.	cis-11,14-Eicosadienoic acid methyl ester (C20:2)	2%
27.	Behenic acid methyl ester (C22:0)	4%
28.	cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid methyl ester (C20:3n6)	2%
29.	Erucic acid methyl ester (C22:1n9)	2%
30.	cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid methyl ester (C20:3n3)	2%
31.	Tricosanoic acid methyl ester (C23:0)*	2%
32.	Methyl cis-5,8,11,14-eicosatetraenoic acid methyl ester (C20:4n6)*	2%
33.	cis-13,16-Docosadienoic acid methyl ester (C22:2)	2%
34.	Lignoceric acid methyl ester (C24:0)	4%
35.	cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid methyl ester (C20:5n3)	2%
36.	Nervonic acid methyl ester (C24:1)	2%
37.	cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid methyl ester (C22:6n3)	2%

*Lot-to-lot column variability may reverse the elution order of peaks 31 and 32.



SP is a trademark of Sigma-Aldrich Co. LLC.

Figura 4. Cromatograma del patrón de esteres metílicos de ácidos grasos utilizado.

2.7 Análisis bromatológicos de productos fritos

2.7.1 Humedad

Se determinó mediante el método oficial de la AOAC 934.01 para la determinación de perdida por secado (humedad) y materia seca a 95-100ºC para alimentos (AOAC, 2012), una técnica gravimétrica en donde se utilizó una estufa marca Continental Equipment.

2.7.2 Grasa

Se realizó por el método oficial AOAC 963.15 para la determinación de la grasa total en carne, pescado, cacao y sus derivados (VELP, 2006b), por el cual se obtuvieron las grasas extraídas.

2.7.3 Fibra

Se determinó mediante el método oficial AOAC 978.10 para la determinación de la fibra (cruda) en alimentos para animales y alimentos para mascotas (AOAC, 2012), en donde se utilizó un equipo de la marca Velp Scientifica modelo Raw Fiber Extractor (FIWE) (VELP, 2006a), que se basa en método gravimétrico por tratamiento acido-base.

2.7.4 Cenizas

Se determinó mediante el método oficial AOAC 942.05 para la determinación de cenizas en alimentos para animales (AOAC, 2012), una técnica gravimétrica que se realizó en una mufla de la marca Nabertherm.

2.7.5 Carbohidratos totales

El contenido total de carbohidratos se obtuvo por diferencia de pesos de los macronutrientes.

2.8 Obtención del almidón de yuca mediante molienda húmeda

El almidón de yuca fue extraído mediante un método de molienda húmeda según (Ortiz, López, Torres, & Pampillón, 2018), con algunas modificaciones.

Para poder extraer el almidón de yuca, lo primero que se hizo es cortar, pelar y lavar la yuca, para después picarla en cubitos pequeños. Luego se tomaron 500 g de yuca, los cuales se dejaron macerar en una proporción de 1:3 con agua, por 3 horas. Después se dreno el macerado en un recipiente para poder recuperar el agua de remojo y continuo a esto, se molturaron los cubitos en una proporción de 1:1 con el agua recuperada, durante 2 minutos. Posteriormente, el producto molido fue lavado tres veces con el agua de remojo sobre un lienzo y seguidamente el filtrado tuvo una sedimentación de 3 horas, para decantar el sobrenadante del almidón. Consecutivo a esto se dejó reposar la muestra en refrigeración durante toda la noche y al día siguiente, se repitió la decantación. La pasta obtenida se secó en una estufa a 40ºC por un lapso de 24 horas, y una vez seco, se pulverizó la muestra en un mortero con pistilo. Finalmente, se secó el almidón por 24 horas a 90ºC, para poder realizar las determinaciones respectivas del almidón.

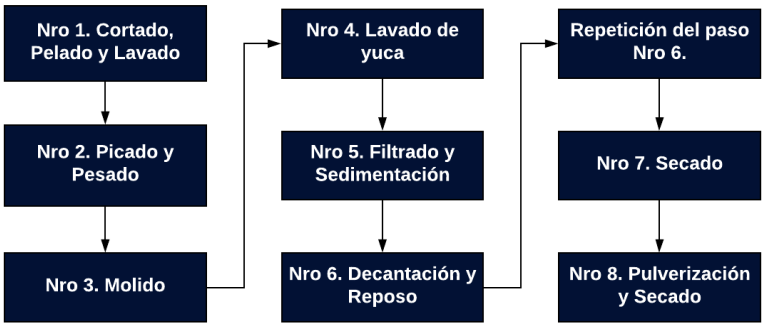


Figura 5. Diagrama de extracción de almidón de yuca

2.9 Análisis Físicos

2.9.1 Granulometría del Almidón

El tamaño de partícula del almidón obtenido se determinó según la NTE INEN 517 (INEN, 2013), y para ello, se usó un juego de 4 tamices y una base de la marca Tecnotest. Fueron previamente pesados y colocados en orden descendente de acuerdo a la abertura de la malla, iniciando con el tamiz Nro. 20 (0,8 mm) y finalizando con el tamiz Nro. 200 (0,08 mm) y la base. Luego se colocó 50g de muestra y se agitó manualmente durante 15 minutos y se pesó el tamiz con el almidón retenido en cada una de las mallas y la base. Finalmente, se determinó el tamaño de la partícula a analizar mediante la ecuación 1:

$$MR = \frac{m2 - m1}{m} \times 100 \qquad Ecuación\ 1$$

En donde: *MR* = masa retenida de almidón, en porcentaje de masa; *m* = peso de la muestra, en g; *m1* = peso del tamiz, en g; *m2* = peso del tamiz con la fracción de almidón, en g.

2.9.2 Humedad

Se determinó mediante el método oficial AOAC 934.01 para la determinación de perdida por secado (humedad) y materia seca a 95-100ºC para alimentos (AOAC, 2012), una técnica gravimétrica en donde se utilizó una estufa marca Continental Equipment.

2.10 Comportamiento Térmico

2.10.1 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para la determinación de las temperaturas de transiciones de fases y la entalpía de gelatinización de la yuca cruda y el almidón de yuca se utilizó un calorímetro diferencial de barrido de marca Bonnin Instrument Technology, modelo DSC-800B. Las muestras analizas de almidón: agua, yuca cruda: agua y yuca cruda: aceite se pesaron entre 10 a 40 mg en una proporción 1:1, en

crisoles de aluminio con tapa que fueron prensados herméticamente y se utilizó como referencia un crisol vacío del mismo tipo. Previo al análisis se calibro con un patrón de Indio (punto de fusión de 429,8 K y entalpia ΔH_f de 28.55 J/g) y se trabajó con una T° inicial de 40 ºC y T° final de 120 ºC, con una rampa de 2,5 ºC/min. Los datos se registraron en el software Differential Scanning Calorimetric Analysis. Luego se realizó una corrección de temperatura de los datos obtenidos con el patrón y se calcularon las áreas de los picos con el software MATLAB y mediante una relación área-entalpía de la muestra y el Indio se calculó la entalpía de la muestra y los termogramas se graficaron con la ayuda del software Origin 8.0 de OriginLab Corp.

2.10.2 Cristalinidad del almidón de yuca mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Para obtener los espectros de infrarrojo del almidón de yuca, se utilizó un espectrómetro de marca Thermo Scientific, modelo NICOLET IR 100 FT-IR, con una resolución 8 cm^{-1} en un rango espectral de 4000 a 650 cm^{-1}. Las muestras a medirse se prepararon en relación a 2 mg de almidón / 100 mg de KBr, en forma de pastilla y su análisis se realizó seis veces. Los datos fueron registrados en el software Thermo Scientific Omnic 9.0. y, asimismo, se realizó una corrección de la línea base del espectro entre un rango de 800 a 1300cm^{-1}. Luego con los puntos de ajuste de las tangentes de la curva de cristalinidad se utilizó el software Origin 8.0 para construir el arreglo gaussiano y entre la diferencia de las áreas de las curvas se calculó la cristalinidad.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Composición de ácidos grasos del aceite virgen.

Mediante el análisis por CG-FAME se obtuvo el siguiente perfil lipídico de la muestra del aceite virgen.

Tabla 4. Caracterización del aceite comercial usado.

Aceite Virgen	Área Pico 1	Área Pico 2	%Palmítico	%Oleico	Ol/Pa
Aceite de soya y oleína de palma	38,93	101,82	27,66	72,34	2,62

Ol/Pa, Relación de Oleico sobre Palmítico.

3.2 Composición de ácidos grasos de las muestras de yuca frita.

Los resultados de AG presentes en las muestras de yuca frita que se obtuvieron por CG-FAME, se muestran en las Tablas 5, 6 y 7. Además, de la relación Oleico/Palmítico, que se determinó mediante la división de las áreas de los picos detectados.

Tabla 5. Composición de ácidos grasos de las muestras de chips largas (CL).

Experimento	T	t	R	Área Pico 1	Área Pico 2	%Palmítico	%Oleico	Ol/Pa
1	180	100	10	4,99	20,87	26,23	71,80	4,19
2	160	100	10	39,34	105,27	26,91	72,94	2,70
3	180	60	10	17,14	46,55	27,79	73,45	2,72
4	160	60	10	19,09	51,46	28,20	73,77	2,70
5	180	100	1	36,48	99,71	26,48	71,98	2,77
6	160	100	1	43,98	111,28	27,00	73,00	2,57
7	180	60	1	15,41	43,34	28,02	73,52	2,81
8	160	60	1	12,18	33,80	28,70	80,72	2,78
R1	170	80	5	41,80	102,72	27,06	73,09	2,48
R2	170	80	5	38,80	97,83	26,55	72,21	2,55
R3	170	80	5	46,91	120,06	19,28	71,30	2,60

Tabla 6. Composición de ácidos grasos de las muestras de chips redondas (CR).

Experimento	T	t	R	Área Pico 1	Área Pico 2	%Palmítico	%Oleico	Ol/Pa
1	180	100	10	30,35	89,44	23,75	70,35	2,97
2	160	100	10	17,56	56,41	25,52	73,40	3,21
3	180	60	10	8,85	30,62	28,36	74,80	3,46
4	160	60	10	14,82	40,91	29,65	76,25	2,76
5	180	100	1	37,36	108,20	25,17	71,57	2,92

6	160	100	1	19,37	57,50	26,00	74,00	2,97
7	180	60	1	45,73	112,45	28,43	74,83	2,52
8	160	60	1	40,88	39,86	49,91	77,57	1,00
R1	170	80	5	40,03	93,13	26,60	74,48	2,33
R2	170	80	5	46,98	116,33	25,20	71,64	2,53
R3	170	80	5	16,60	47,23	22,43	50,09	2,85

Tabla 7. Composición de ácidos grasos de las muestras de bastones de yuca frita (BF).

Experimento	T	t	R	Área Pico 1	Área Pico 2	%Palmítico	%Oleico	Ol/Pa
1	180	360	10	15,74	47,47	24,22	73,89	3,02
2	160	360	10	15,92	49,01	24,52	75,09	3,08
3	180	240	10	19,93	61,36	25,10	75,49	3,08
4	160	240	10	30,36	81,60	26,11	75,78	2,72
5	180	360	1	35,80	100,50	24,40	74,14	2,83
6	160	360	1	41,61	118,07	24,90	75,10	2,87
7	180	240	1	21,94	67,95	25,86	75,60	3,10
8	160	240	1	8,52	26,65	26,86	76,16	3,13
R1	170	300	5	9,20	27,72	24,91	75,48	3,01
R2	170	300	5	16,60	49,54	24,51	74,90	2,98
R3	170	300	5	8,63	27,55	23,84	73,14	3,19

Por otro lado, mediante el cálculo del tiempo de retención de los picos del patrón se pudo identificar que el perfil lipídico de los experimentos y del aceite virgen usado tuvieron ácido graso oleico y palmítico, como se puede observar en la Figura 6.

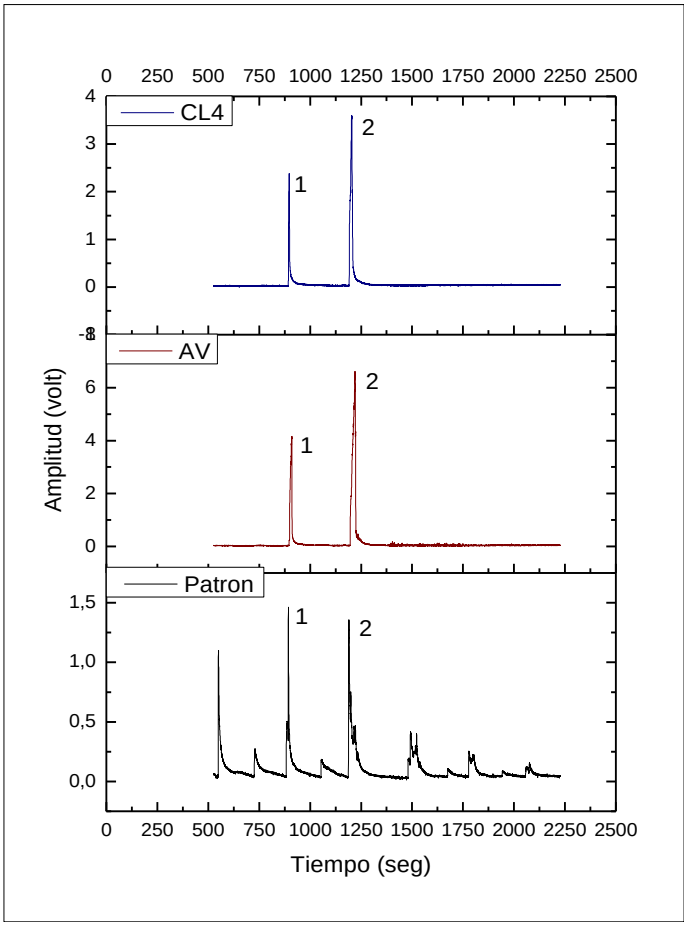


Figura 6. Cromatograma de los esteres metílicos de los ácidos grasos presentes en: CL4, Muestra 4 de chips largas; AV, Aceite virgen de soya y oleína de palma; Patrón, FAME Mix de C4-C24; 1, Éster metílico del ácido palmítico (C16:0); 2, Éster metílico del ácido oleico (C18:1n9c).

3.3 Análisis estadístico de la influencia de los factores en el proceso de freído

En primer lugar, para conocer la influencia de las variables se calculó la relación de oleico/palmítico encontrados en las grasas extraídas, la cual se utilizó como variable respuesta de los diseños experimentales, para realizar el análisis de varianza (ANOVA). El cual se utilizó para conocer si los factores influyen significativamente sobre la absorción de AG sobre las muestras CL, CR y BF como se puede observar en las tablas 8, 9 y 10, respectivamente.

Tabla 8. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de CL.

Fuente	GL	SC Sec.	MC Ajust.	F	P
Efectos principales	3	0,8013	0,2671	81,69	0,012
Temperatura	1	0,3772	0,3772	115,36	0,009
Tiempo	1	0,1871	0,1871	57,23	0,017
Reúso	1	0,2370	0,2370	72,49	0,014

2º orden (interacciones)	3	0,9051	0,3017	92,28	0,011
Temperatura*Tiempo	1	0,3290	0,3290	100,62	0,01
Temperatura*Reúso	1	0,2013	0,2013	61,56	0,016
Tiempo*Reúso	1	0,3749	0,3749	114,65	0,009
3º orden (interacciones)	1	0,2114	0,2114	64,66	0,015
Temperatura*Tiempo*Reúso	1	0,2114	0,2114	64,66	0,015
Curvatura	1	0,2834	0,2834	86,68	0,011
Error residual	2	0,0065	0,0033		
Error puro	2	0,0065	0,0033		
Total	10	2,2078			
Significativo para p< 0.05. No significativo para p > 0.05.					

Tabla 9. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de CR.

Fuente	GL	SC Sec.	MC Ajust.	F	P
Efectos principales	3	2,2637	0,7546	10,98	0,085
Temperatura	1	0,4628	0,4628	6,74	0,122
Tiempo	1	0,6799	0,6799	9,89	0,088
Reúso	1	1,1210	1,1210	16,32	0,056
2º orden (interacciones)	3	1,6256	0,5419	7,89	0,115
Temperatura*Tiempo	1	0,7806	0,7806	11,36	0,078
Temperatura*Reúso	1	0,1262	0,1262	1,84	0,308
Tiempo*Reúso	1	0,7187	0,7187	10,46	0,084
3º orden (interacciones)	1	0,0493	0,0493	0,72	0,486
Temperatura*Tiempo*Reúso	1	0,0493	0,0493	0,72	0,486
Curvatura	1	0,0558	0,0558	0,81	0,463
Error residual	2	0,1374	0,0687		
Error puro	2	0,1374	0,0687		
Total	10	4,1317			
Significativo para p< 0.05. No significativo para p > 0.05.					

Tabla 10. Análisis de varianza obtenido de la relación de Oleico/Palmítico de las muestras de BF.

Fuente	GL	SC Sec.	MC Ajust.	F	P
Efectos principales	3	0,0133	0,0044	0,34	0,802
Temperatura	1	0,0063	0,0063	0,49	0,556
Tiempo	1	0,0069	0,0069	0,53	0,541
Reúso	1	0,0001	0,0001	0,01	0,942
2º orden (interacciones)	3	0,1233	0,0411	3,19	0,248
Temperatura*Tiempo	1	0,0226	0,0226	1,75	0,317
Temperatura*Reúso	1	0,0161	0,0161	1,25	0,38
Tiempo*Reúso	1	0,0846	0,0846	6,55	0,125
3º orden (interacciones)	1	0,0213	0,0213	1,65	0,328

Temperatura*Tiempo*Reúso	1	0,0213	0,0213	1,65	0,328
Curvatura	1	0,0163	0,0163	1,26	0,378
Error residual	2	0,0258	0,0129		
Error puro	2	0,0258	0,0129		
Total	10	0,2000			
Significativo para p< 0.05. No significativo para p > 0.05.					

Por otro lado, se elaboraron diagramas de Pareto para observar cuales fueron los efectos significativos sobre la variable respuesta de los resultados del ANOVA de cada diseño experimental. En donde, los valores significativos en las gráficas de Pareto se encuentran sobrepasando la línea de referencia 4,303 y 4,30, los cuales fueron determinados con un alfa 0,05. En el cual se puede observar que la Tabla 8 que corresponde a la Figura 7 de las muestras CL, presentaron valores significativos en los factores temperatura, tiempo y reúso de aceite y sus interacciones, ya que se reportaron valores p < 0.05; sin embargo, las muestras CR que corresponde a la Tabla 9, al igual que las muestras BF de la Tabla 10, reportaron valores p > 0.05, demostrando que no hubo significancia con respecto a los tres factores y sus interacciones a un nivel de confianza del 95% como se puede observar en los diagramas de Pareto de la Figura 8 y 9, que corresponden a las muestras CR y BF, respectivamente.

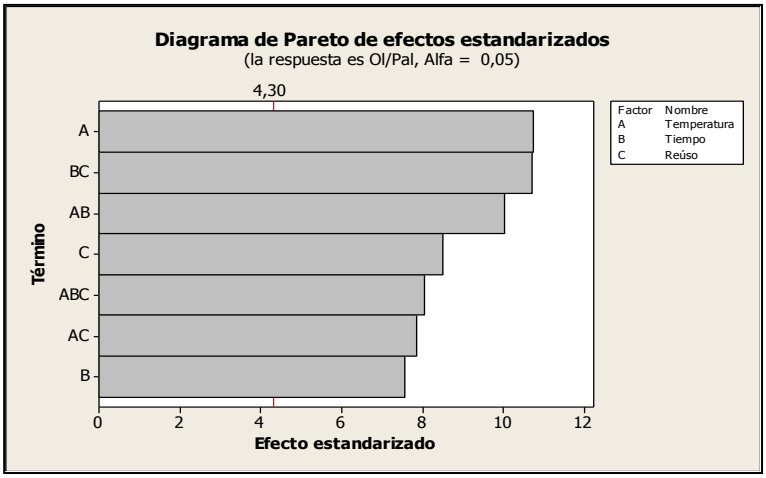


Figura 7. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras CL.

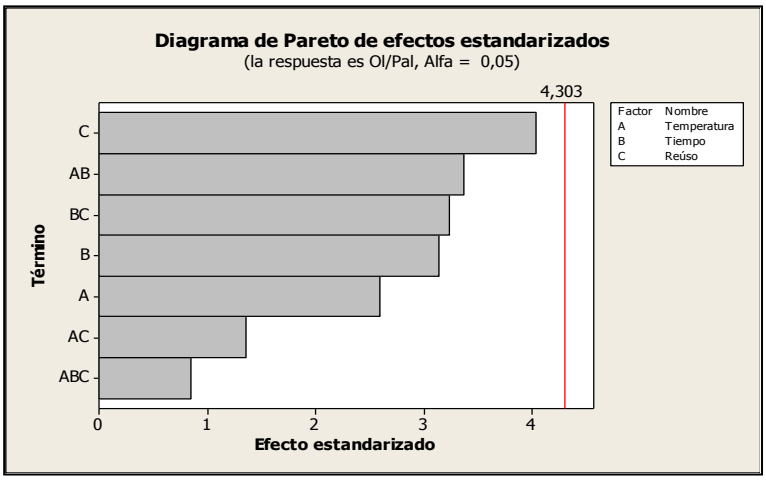


Figura 8. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras CR.

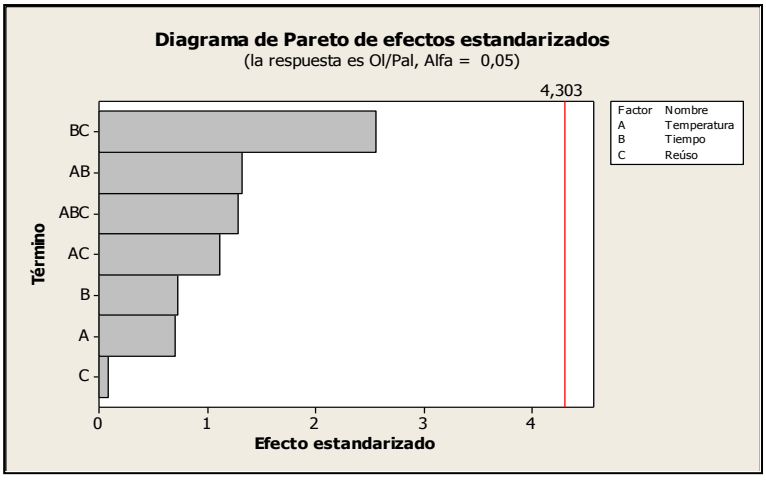


Figura 9. Factores que intervienen durante la fritura de las muestras BF.

3.4 Análisis bromatológicos de las muestras de yuca frita

Una vez determinado los AG de las grasas extraídas, se realizó el análisis bromatológico del mejor experimento de cada diseño experimental, los cuales se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis bromatológico de la yuca fresca y muestras de yuca frita.

Alimento	Bastones de yuca	Chips Redondas	Chips Largas
Valor calórico (kcal)	259,94	504,46	503,11
Humedad (%)	41.6	2.71	2.65
Carbohidratos totales (%)	50,08	72.06	71,53
Proteína (%)	ND**	ND**	ND**
Grasa (%)	6.18	23.58	24,11
Fibra (%)	0.94	0.55	0.61
Cenizas (%)	0.2	0.1	0.1
ND, no detectable.			

** El porcentaje de proteínas no se identificó debido a que el método de Kjeldahl, es sensible a la detección del 1% de proteína que contenga la muestra.

3.5 Análisis físicos

3.5.1 Granulometría del almidón y humedad del almidón.

El tamaño de partículas del almidón de yuca, se representó en porcentaje retención en los tamices como se muestra en la Figura 10.

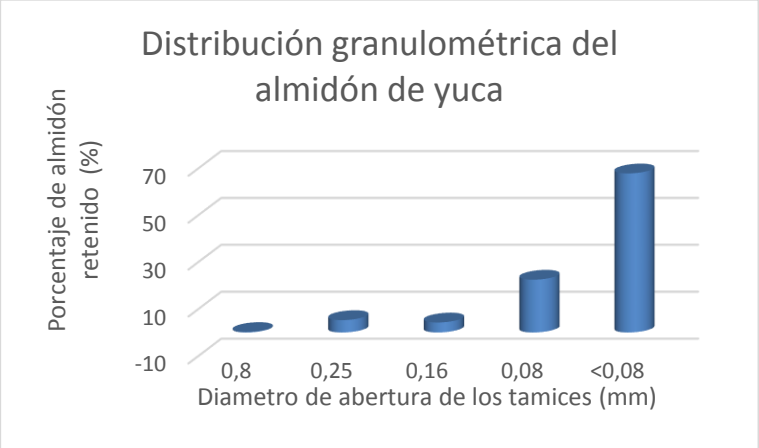


Figura 10. Distribución del tamaño de partículas del almidón de yuca tamizado.

Para los posteriores análisis de las propiedades del almidón de yuca, se utilizó el gránulo más fino posible (<0,08), y el contenido de humedad en peso seco fue de 8,42%.

3.6 Caracterización térmica del almidón de yuca y de la yuca cruda por DSC.

Para conocer la caracterización térmica del almidón de yuca se realizó con una muestra húmeda, en una proporción (1:1) almidón:agua, para comparar con la muestra de yuca cruda, mientras que las muestras de yuca cruda con agua y aceite también se prepararon en una proporción (1:1), para conocer los cambios de gelatinización y retrogradación de la yuca en procesos de cocción del alimento.

Los termogramas obtenidos del almidón de yuca y de las interacciones de la yuca cruda con los diferentes constituyentes (agua y aceite), se muestran en la Figura 11 y los resultados de los termogramas de las diferentes muestras se resumen en la Tabla 12.

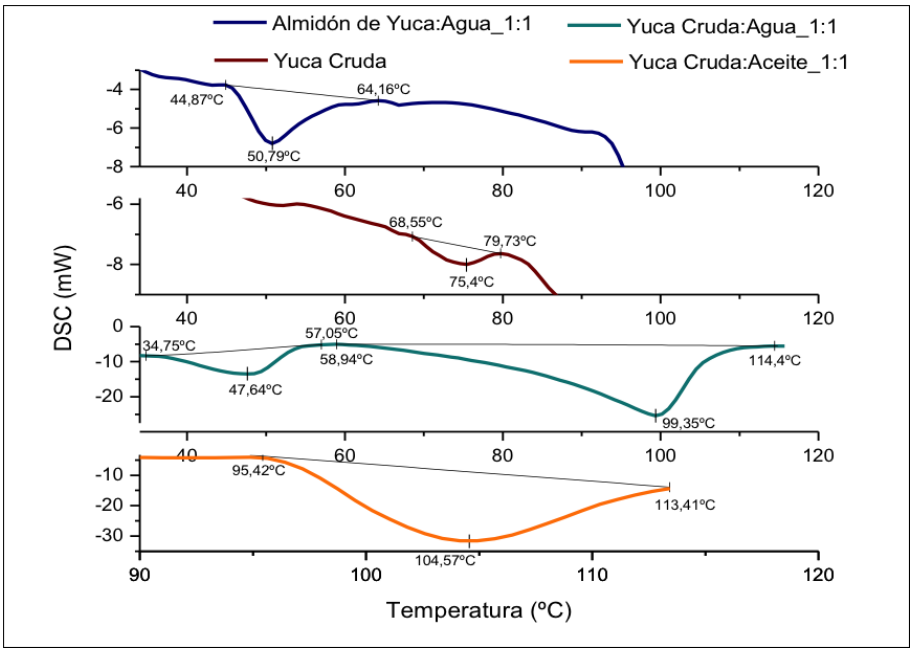


Figura 11. Termogramas de DSC del almidón de yuca, de yuca cruda y yuca cruda en agua y aceite.

Tabla 12. Características térmicas del almidón de yuca y las interacciones de la yuca cruda en agua y aceite.

Parámetros	AYA	YCF	YCA		YCO
Temp. Inicio, To (°C)	44,87	68,55	34,75	58,94	95,42
Temp. Pico, Tp (°C)	50,79	75,4	47,64	99,35	104,57
Temp. Final, Tf (°C)	64,16	79,73	57,05	114,4	113,41
Rango de Gelatinización, (Tc -To) (°C)	19,29	11,18	22,3	ND	ND
Rango de Fusión, (Tc -To) (°C)	ND	ND	ND	55,46	17,99
Entalpía de Gelatinización, △H (J/g)	8,56	2,57	ND	ND	ND

AYA, Almidón de yuca; YCF, Yuca cruda fresca, YCA; Yuca cruda en agua, YCO; Yuca cruda en aceite, ND; No detectable.

3.7 Cristalinidad del almidón de yuca

En la Figura 12, se muestra el área espectral de 800-1300 cm^{-1} del almidón de yuca y el arreglo gaussiano del espectro obtenido por FT-IR.

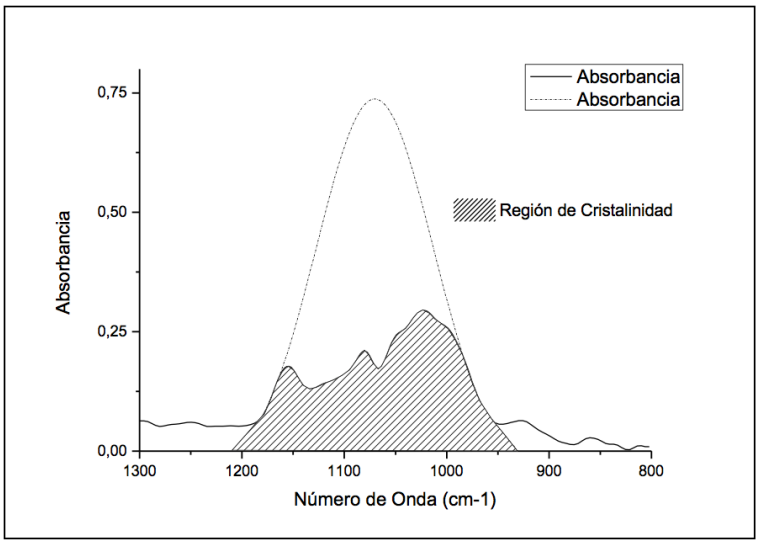


Figura 12. Espectro FT-IR del almidón de yuca (AY2100) y arreglo gaussiano (GAUSS).

El cálculo se determinó por la diferencia de áreas de las curvas de AY2100 y GAUSS, y dio como resultado un 34,67±3,23% de cristalinidad del almidón de yuca.

CAPÍTULO 4

DISCUSIONES

4.1 Composición de ácidos grasos

El perfil lipídico determinado de las muestras de yuca frita, en forma de bastones, chips redondas y largas, que se muestran en la Tabla 5, 6 y 7, respectivamente, fue similar al del aceite virgen usado (soya y oleína de palma) (Tabla 4), con un alto contenido de AGM y un contenido bajo de AGS, con un promedio de 74% y 27%, respectivamente. Debido a que la yuca cruda tiene un bajo contenido de lípidos (0,4%) (Marcano, La Rosa, & Salinas, 2010) como se puede observar en la Tabla 13 y por el contenido de humedad de la yuca escaldada los cuales influyeron en el porcentaje de absorción del aceite (Marcano et al., 2010; Montes et al., 2016). Esto se ha evidenciado en estudios con patatas fritas, en donde se determinó que la composición y el porcentaje de ácidos grasos de las muestras y de mezcla de aceite de canola con oleína de palma fue el mismo, con una presencia del 23%, de palmítico; 2%, de esteárico; 52%, de oleico; 14%, de linoleico y un 4%, de linolénico, sin mostrar cambios significativos de los AG durante las 7 y 28 horas durante el proceso de fritura a 180°C (Al-Khusaibi, Gordon, Lovegrove, & Niranjan, 2012), mientras que en el caso de las patatas tipo “French” como se puede ver en el estudio de Marcano et al., (2010) demostró que también tenía la misma composición de ácidos grasos que el aceite de oleína de palma usado hasta su octavo reúso y a pesar de que, el ácido linoleico disminuyó hasta un 9,3% en el último experimento sometido a 180°C, no mostró formación de AGT de igual manera que las muestras analizadas en este trabajo. Aunque si se determinó la formación de 7,45 y 11,49% de compuestos polares que significa el nivel de degradación del aceite, el cual, si sobrepasa el 25% máximo del nivel de alteración del aceite, no se podría reutilizar el aceite para próximas frituras (Marcano et al., 2010).

Tabla 13. Análisis bromatológico de la yuca fresca.

Alimento	Yuca Fresca
Componente / 100 g en base seca	**%**
Humedad (%)	65.2
Carbohidratos (%)	32.8
Proteína (%)	1.0
Grasa (%)	0.4
Fibra (%)	1.0
Cenizas (%)	0.6

Fuente: (Fretes & Mendoza, 2010).

Por otra parte, como se puede observar en la Tabla 12 el contenido alto de oleico en el aceite de freír cumple con 75% que está estipulado por el Código Alimentario Argentino (CAA) (CAA, 2014),

para aceites de fritura de uso industrial, los cuales son una mezcla de un aceite con mayor porcentaje de insaturaciones con otro de alta estabilidad oxidativa como la oleína de palma por su alto contenido de ácido oleico (Matthäus, 2007; Naghshineh, Ariffin, Ghazali, Mohammad, & Mirhosseini, 2010), ya que este ayuda a reducir el contenido de ácido linoleico y linolénico (Abdel, Hassanein, Rudzinska, & Mallah, 2017), los cuales disminuyen la estabilidad oxidativa del aceite, además de evitar la formación de compuestos polares o termo-oxidativos y cabe mencionar que es una alternativa de la hidrogenación parcial de los aceites para evitar la generación de ácidos grasos trans (Khusaibi et al., 2012; Montes et al., 2016).

Tabla 14. Porcentajes de los ácidos grasos de la muestra de aceite virgen, aceites vegetales, mezclados y altos en oleico.

Ácidos grasos (%)	ASOP	AS[CXS]	AOP[CXS]	ASAC18[CAA]	AO-AS (50:50-75:25)[**]
C16:0	27,65	8-13,5	38-43,5	CPA	22,9-29,2
C18:1	72,34	17-30	39,8-46	≥75	35-40,5
C18:2	ND	48-59	10-13,5	CPA	35,8-24,8
C18:3	ND	4,5-11	ND-0,6	<2	2,4-1,3

ASOP, Aceite de soya y oleína de palma; AS, Aceite de soya; AOP, Aceite de oleína de palma; ASAC18, Aceite de soya alto en oleico; AO-AS, Aceite de súper oleína de palma y soya; ND, No detectable; CPA; características propias del aceite.
[CXS] (Codex Alimentarius, 1999)
[CAA] (CAA, 2014)
[**] (Abdel et al., 2017)

De acuerdo, a los análisis bromatológicos que se puede observar en la Tabla 9, el porcentaje de grasa fue menor en las muestras en forma de bastones y mayor en las muestras tipo chips, por la razón de que a menor núcleo y mayor superficie absorben con más facilidad el aceite como, por ejemplo, en muestras de patatas tienden a absorben entre 30 a 40%, mientras que las papas tipo “French” absorben de 7 a 10% según (O’Brien, 2004), eso quiere decir, que el tipo de corte influye en el porcentaje de grasa absorbido, y en cuanto a la normativa INEN 2561 (INEN, 2010) se encuentra dentro del límite máximo del 50% de grasa y 5% de humedad para bocaditos o snacks fritos. Por otro parte, se determinó que el contenido proteínico disminuyó con respecto al 1% de la yuca fresca (Tabla 13), ya que según (Ngudi, Kuo, & Lambein, 2003) que al cocinar el alimento las proteínas se degradan a altas temperaturas y, además, el contenido de fibra y cenizas son muy bajos, debido a que la raíz tiene un alto valor nutritivo por su contenido de almidón.

4.2 Análisis estadístico de la influencia de los factores que influyen en el proceso de fritura, sobre la absorción de AG en las muestras de yuca.

El ANOVA dio como resultado, que las muestras en forma de bastones no mostraron valores significativos (p>0,05), por lo que los factores de temperatura, tiempo y reúso e interacciones no

causan efectos sobre el modelo experimental, al igual que las muestras de chips redondas, debido a la uniformidad de la muestra y la absorción de AG. Mientras que las muestras de chips largas, si mostraron una diferencia significativa de $p<0,05$ entre los tres factores y todas sus interacciones, presentando como efecto principal el aumento de la temperatura y la interacción que existe entre el tiempo de freído y número de reúsos del aceite, debido a la no uniformidad de la muestra.

Por otro lado, todas las muestras fritas mostraron, que a medida que aumentaba el número de reúsos disminuía la absorción de material graso (Marcano et al., 2010; Montes et al., 2016). Además, se determinó que las muestras con mayor contenido de oleico fueron los mejores experimentos debido a que los productos tenían un nivel alto de grasas monoinsaturadas, que ayudan equilibrar el colesterol LDL en la sangre. Determinando que es un producto bajo en grasas saturadas de acuerdo a lo estipulado por las regulaciones de otros países (Cabezas et al., 2016), siendo menos dañino que otros productos fritos en aceites hidrogenados.

4.3 Caracterización térmica

El tamaño de los gránulos del almidón obtenido en la molienda tuvo un coeficiente de uniformidad del 60% con un tamaño menor a 80µm y un contenido de 8,42% de humedad, siendo parámetros relevantes, debido a que influyen con respecto al índice de absorción de agua en el almidón (IAA) y su índice de solubilidad en agua (ISA) (Aristizábal & Sánchez, 2007; Vargas-Aguilar, 2016), como su estado conservación durante el almacenamiento para su comercialización (Nwokocha, Aviara, Senan, & Williams, 2009).

Por otra parte, a pesar de que la temperatura de gelatinización es una característica propia de cada almidón (Moorthy, 2002) muestra como las propiedades fisicoquímicas causan efectos en las propiedades de gelatinización del almidón de yuca, mostrando que a mayor tamaño del gránulo 48.6µm la temperatura de empastamiento y la temperatura de gelatinización disminuyen a 52,65°C y 63,4°C, respectivamente. Sin embargo, la temperatura inicial de gelatinización del almidón de yuca estudiada fue de 44,87°C, representado un valor más bajo al de otras variedades como el almidón de papa, maíz, camote y taro que tienen una mayor temperatura de gelatinización de 60°C, 62,3°C, 58-75°C y 72,96°C, respectivamente como se puede revisar en (Hernández et al., 2008; Nwokocha et al., 2009) y esto se debe a la variedad, a su composición de amilosa/amilopectina y a las condiciones en donde se cultivó la yuca según (Vargas-Aguilar, 2016). Es por eso que el almidón de yuca es destinado a procesos térmicos bajos para elaborar caramelos blandos, pudines, natillas, entre otros (Hernández et al., 2008).

En cambio, la muestra de yuca cruda al presentar similitud con la harina de yuca se comparó para poder conocer los cambios en las propiedades de gelatinización y como se pudo observar, su gelatinización, varia de forma mínima ya que tenía una temperatura inicial de 71,4 °C y una

temperatura final de 85,1°C. Sin embargo, hubo una gran diferencia con la entalpía de la harina que era de 13,7J/g, al contrario de la yuca fresca en estudio que tenía 2,57J/g. Además, la harina mostró que al someterla a ebullición la temperatura de gelatinización disminuye a 49°C según Sandoval et al., (2005), y esto se demostró con la yuca fresca en agua, ya que la temperatura de gelatinización bajo a 34°C, y esto se debió a que la muestra de YCA como la harina presentan un alto grado de retrogradación por el contenido de amilosa, ya que al cocinar este recristaliza. Lo cual es una información muy útil para los procesos de precocción de masas de harinas o el tubérculo en sí, para conocer sus parámetros de conservación en almacenamiento como lo hacen con el puré de papa y así evitar su rápido deterioro (Sandoval Aldana et al., 2005).

Los análisis de las muestras de YCO que tuvieron interacción con material graso solo mostraron una cristalización a los 95°C, lo que explica el comienzo de la deshidratación de la corteza de la yuca al freírla en aceite. Sin embargo, se muestra en pequeñas cantidades de aceite, lo que sería más probable que a mayor cantidad de aceite mostraría mayores cambios debido a que el aceite transfiere calor y masa hacia el alimento, además de formación de compuestos volátiles durante la degradación del aceite (Aguilera & Gloria, 2000).

En cuanto a la cristalinidad del almidón extraído, este reporto un 34,67%, siendo uno de los más altos porcentajes con respecto a la papa dulce (33,25%), maicena (31,8%) según el estudio de (Sun et al., 2014) y más bajo en comparación con papa normal que es de 45,9% (Alcázar & Meireles, 2015). No obstante, cuando estos almidones son modificados presentan un mayor grado de cristalinidad, como es en el caso del almidón de plátano ya que si es lintnerizado podría ser beneficioso para la industria de panificación, debido a que provoca una mejor formación de cristales más pequeños en la miga del pan, mientras que un almidón oxidado podría usarse para la elaboración de aderezos o mermeladas según (Rivas, Méndez, Sánchez, Núñez-Santiago, & Bello, 2008).

CONCLUSIÓN

En este trabajo se determinó que el perfil lipídico de todas las muestras de yuca frita en diferentes cortes, fue similar al del aceite de freír, ya que este contenía un alto contenido de oleico, el cual le confiere alta estabilidad oxidativa al aceite durante el proceso de fritura. Además, los factores de temperatura, tiempo y reúso del aceite solo influyeron sobre las muestras de chips largas debido a que no presentaba la misma uniformidad que las muestras de chips redondas y bastones. Dando como valores óptimos de fritura de las muestras en forma de bastones una fritura a 170°C, por 300 segundos, hasta 5 reúsos; mientras que para chips redondas fue de 180°C, por 60 segundos, hasta 10 reúsos y para chips largas a 180°C, por 100 segundos, hasta 10 reúsos, ya que presentaron una mejor relación de AGM/AGS en los análisis por CG.

Por otro lado, se concluyó que la caracterización térmica de la yuca, no es comparable al del almidón extraído de la raíz, debido a que existen otros constituyentes que interfieren sobre la cocción del alimento. Dado que, los termogramas reportaron una baja gelatinización de la yuca con respecto al del almidón, mostrando una alta retrogradación tanto en agua como en aceite, y esto se debió a que en el almidón presentó un alto porcentaje de cristalinidad, el cual está relacionado con la alta presencia de amilosa

Finalmente, se puede decir que es muy importante el uso de aceites altos en oleico para la industria, ya que las muestras de yuca frita reportaron un bajo contenido de AGS, los cuales perjudican la salud de las personas. Además, se podría considerar una alternativa para la hidrogenación parcial de los aceites, y así, evitar la formación de AGT. Y por último, considerar que la alta retrogradación que existe en las muestras de yuca puede no ser tan favorable para procesos de conservación, mientras que en el almidón puede ser beneficioso si lo modificamos, ya que presentarían mejores propiedades funcionales para elaborar productos que no necesiten altas temperaturas durante su proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Razek, A. G., Hassanein, M. M. M., Rudzinska, M., & El-Mallah, M. H. (2017). Role of minor constituents and balanced fatty acids in upgrading the low stability of cooking oils blended with palm super olein. *Asian Journal of Scientific Research*, *10*(3), 150–159. https://doi.org/10.3923/ajsr.2017.150.159

Aguilera, J. M., & Gloria-Hernández, H. (2000). Oil Absorption During Frying of Frozen Parfried Potatoes. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, *65*(3), 476–479. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16031.x

Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, *35*(2), 215–236. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749

Al-Khusaibi, M., Gordon, M. H., Lovegrove, J. A., & Niranjan, K. (2012). Frying of potato chips in a blend of canola oil and palm olein: Changes in levels of individual fatty acids and tocols. *International Journal of Food Science and Technology*, *47*(8), 1701–1709. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03024.x

AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of Association of Officail Analytical Chemists (AOAC) International* (19a ed.). Maryland-EEUU: AOAC.

Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Retrieved from http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/handle/123456789/3758

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4a ed.). México DF: PEARSON EDUCACIÓN.

CAA. (2014). *CAPITULO VII ALIMENTOS GRASOS ACEITES ALIMENTICIOS*. Retrieved from https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat-capitulo_vii_grasosactualiz_2018-12.pdf

Cabezas, C., Hernández, B., & Vargas, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de La Facultad de Medicina*, *64*(4), 761–768. https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684

Chow, C. K. (2007). *Fatty Acids in Foods and their Health Implications* (3a ed.). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

Codex Alimentarius. (1999). *STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS. CXS 210*. Retrieved from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/

Fretes, F., & Mendoza, C. (2010). Mandioca una opción industrial. *Agencia Del Gobierno de Los Estados Unidos Para El Desarrollo Internacional (USAID)*. Retrieved from https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/mandioca.pdf

Harris, Daniel. C. (2016). *Análisis químico cuantitativo* (3a ed.). Retrieved from https://ebookcentral.proquest.com/lib/uasuaysp/reader.action?docID=5635405

Hernández Medina, M., Torruco Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización Fisicoquímica de Almidones de tubérculos Cultivados en Yucatán, México.

Food Science and Technology, *28*(3), 718–726. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031

Höhne, G. W. H., Hemminger, W. F., & Flammersheim, H. J. (2003). *Differential Scanning Calorimetry*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-06710-9

Holger, O. N., Montilla, J., Alfonso Pérez, C., & Rodríguez, O. (2011). Contenido de ácidos grasos" trans" eláidico y linoeláidico en alimentos consumidos en Caracas y Guayaquil. *Diabetes Internacional*, *3*(4), 98–102. Retrieved from www.diabetesinternacional.com

INEN. (2010). *Bocaditos de productos vegetales. Requisitos. NTE INEN 2561*. Retrieved from https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2561.pdf

INEN. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación del tamaño de partículas. NTE INEN 517.* Retrieved from https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_517-1.pdf

Kaletunç, G. (2009). *Calorimetry in Food Processing: Analysis and Design of Food Systems*. John Wiley & Sons.

Lacerda, L. G., Azevedo, J. A. M., Carvalho Filho, M. A. D. S., Demiate, I. M., Schnitzler, E., Vandenberghe, L. P. D. S., & Soccol, C. R. (2008). Thermal characterization of partially hydrolyzed cassava (Manihot esculenta) starch granules. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *51*(6), 1209–1215. https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000600016

Marcano, J., la Rosa, Y., & Salinas, N. (2010). Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipí'dico de la grasa contenida en patatas tipo "french", empleando oleina de palma. *Grasas y Aceites*, *61*(1), 24–29. https://doi.org/10.3989/gya.053309

Matthäus, B. (2007). Use of palm oil for frying in comparison with other high-stability oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *109*(4), 400–409. https://doi.org/10.1002/ejlt.200600294

Montes, N., Millar, I., Provoste, R., Martínez, N., Fernández, D., Morales, G., & Valenzuela, R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutrición, 43*(1), 87–91. https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100013

Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review. *Starch/Staerke*, *54*(12), 559–592. https://doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F

Morales, M. T., Cameán, A. M., & Repetto, M. (2012). *Toxicología alimentaria*. Madrid: Ediciones de Díaz de Santos.

Muñoz, X., Hinostroza, F., & Mendoza, M. (2017). La yuca en Ecuador: su origen y diversidad genética. *Misioneros Del Agro*, 4–18.

Naghshineh, M., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Mohammad, A. S., & Mirhosseini, H. (2010). Effect of saturated/unsaturated fatty acid ratio on physicochemical properties of palm olein-olive oil blend. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *87*(3), 255–262. https://doi.org/10.1007/s11746-009-1495-z

Ngudi, D. D., Kuo, Y. H., & Lambein, F. (2003). Amino acid profiles and protein quality of cooked cassava leaves or “saka-saka.” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*(6), 529–534. https://doi.org/10.1002/jsfa.1373

Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2009). A comparative study of some properties of cassava (Manihot esculenta, Crantz) and cocoyam (Colocasia esculenta, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, *76*(3), 362–367. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.034

O’Brien, R. (2004). *Fats and Oils: Formulating an Processing for Applications* (2a ed.). Boca Raton: CRC Press LLC.

Ortiz, V., López, G., Torres, C. A., & Pampillón, L. (2018). Almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, *7*(13), 18–46. https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.73

Ospina, B., & Ceballos, H. (2002). *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización* (Vol. 327). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Park, P. W., & Goins, R. E. (1994). In Situ Preparation of Fatty Acid Methyl Esters for Analysis of Fatty Acid Composition in Foods. *Journal of Food Science*, *59*(6), 1262–1266. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14691.x

Rivas-González, M., Méndez-Montealvo, M. G. C., Sánchez-Rivera, M. M., Núñez-Santiago, M. C., & Bello-Pérez, L. A. (2008). Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado. *Agrociencia*, *42*(5), 487–497. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952008000500001&script=sci_arttext

Sandoval Aldana, A., Rodríguez Sandoval, E., & Fernández Quintero, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, *72*(146), 45–53. Retrieved from https://www.redalyc.org/pdf/496/49614604.pdf

Serna, P., Ponce, T., & Oña, X. (2009). Perfíl de Yuca. *Centro de Inteligencia e Información Comercial (CICO)* , 1–28. Retrieved from http://www.pucesi.edu.ec/pdf/yuca.pdf

Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

Sun, Y., Wu, Z., Hu, B., Wang, W., Ye, H., Sun, Y., … Zeng, X. (2014). A new method for determining the relative crystallinity of chickpea starch by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, *108*(1), 153–158. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.093

Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, *5*(3), 280–291. https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035

Vargas-Aguilar, P. (2016). Flours and starches made from cassava (yuca), yam, sweet potatoes and ñampi: functional properties and possible applications in the food industry. *Revista Tecnología En Marcha*, *29*(5), 86. https://doi.org/10.18845/tm.v29i5.2519

Velastegui, R. (1992). *El cultivo de la yuca en el Ecuador, su comercialización, impacto en la agroindustria, aspectos socio-económicos y de organización de productores: Seminarios de yuca 1988-1989-1990: Compendio de ponencias. Quito, EC: Fundación para el Desarrollo Agropecuario (FUNDAGRO); Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).* Quito: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

VELP. (2006a). *Operation Manual FIWE Raw Fiber Extractors*. Italia: VELP.

VELP. (2006b). *Operation Manual SER 148 Extraction Unit*. Italia: VELP.