



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**“Estudio del efecto de la actividad antioxidante de harina de
cáscara de (*Oxalis tuberosa*) para la disminución de acrilamida
en productos de panificación fritos.”**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

PRESENTA

L. N. EVA MARIA RAMOS RIVERA

Directores:

Dra. Norma Güemes Vera

Dr. Javier Piloni Martini

Asesores:

M. en C. Sergio Soto Simental

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe



Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Octubre 2014.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: **"Estudio del efecto de la actividad antioxidante de harina de cáscara de (*Oxalis tuberosa*) para la disminución de acrilamida en productos de panificación fritos."**, que desarrolla la estudiante L.N. Eva Maria Ramos Rivera.

Asistentes:

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dr. Javier Piloni Martini
- M. en C. Sergio Soto Simental
- Dra. Aurora Quintero Lira
- Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la L.N. Eva Maria Ramos Rivera, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante continúe su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.



Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 01 de octubre del 2014

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dr. Javier Piloni Martini
- M. en C. Sergio Soto Simental
- Dra. Aurora Quintero Lira
- Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines.



AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al apoyo recibido por CONACYT con la beca de la Maestría en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo incluida en el Padrón Nacional de Posgrado de CONACYT.

Al Instituto Tecnológico de Celaya, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Laboratorio de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco inmensamente a dios, por darme la dicha de culminar un logro más en el ámbito académico, y por darme la fortaleza necesaria para afrontar las adversidades...

A mis padres Amanda y Armando por ser guías y ejemplos de vida; a ti mami porque has sabido motivarme siempre, convirtiéndote en parte fundamental de todos mis proyectos, a ti papi por ser parte crucial en mi vida personal y ejemplo de dedicación y esfuerzo, este logro también es suyo yo se que los enorgullecerá mucho y aunque estas líneas son muy poco para expresarles mi gratitud, de todo corazón muchas gracias...**LOS QUIERO MUCHO.**

A mis hermanos Itzel, Armando y Lucio, por ser parte de la motivación y del apoyo moral que necesite para seguir adelante día a día durante esta etapa de mi vida.

A mi bebe hermoso Cristian que ha sido siempre la chispa de alegría que motiva mi existencia, a ti mas que ha nadie te doy gracias te amo con todo mi corazón... a ti Eleazar por compartir conmigo un camino lleno de logros y tropiezos.

A mis directores por la confianza recibida desde el comienzo de esta tesis, por enseñarme aspectos científicos, indispensables. Doctora Norma muchas gracias por todo, principalmente gracias por ayudarme a madurar como persona.

A mis asesores Dra. Aurora, Dr. Sergio y Dr. Juan Pablo, por sus atenciones y observaciones para la mejora de este trabajo muchas gracias.

A mis amigos que a lo largo de la vida me han acompañado y en especial durante la estancia de la maestría, haciendo el trayecto más ameno muchas gracia.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I	INTRODUCCIÓN	1
II	ANTECEDENTES	3
2.1	Consumo de pan a nivel Mundial y Nacional	3
2.2	Industria de la panificación en México	3
2.3	Trigo	4
2.3.1	Clasificación del trigo	5
2.3.2	Proteínas del trigo	6
2.4	Papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	8
2.4.1	Composición química de la papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	9
2.5	Alimentos de panificación fritos	11
2.5.1	Compuestos producidos por altas temperaturas durante la fabricación de las donas	12
2.5.2	Acrilamida	13
2.6	Donas	16
2.6.1	Función de los ingredientes	17
2.6.2	Elaboración de donas fermentadas	18
2.6.3	Mercado comercial de las donas	19
III	JUSTIFICACIÓN	20
IV	OBJETIVOS	21
4.1	Objetivo General	21
4.2	Objetivos Específicos	21
V	MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1	Materias primas	22
5.2	Obtención de la harina de cáscara de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	22

5.3	Diseño de tratamientos	23
5.4	Pruebas reológicas en masas	24
5.4.1	Análisis de perfil de textura	24
5.4.2	Prueba de extensibilidad	24
5.4.3	Obtención de resultados de parámetros de textura en masas y análisis estadístico	26
5.5	Método de panificación para la elaboración de donas	26
5.5.1	Parámetros físicos y químicos de las donas	26
5.5.2	Análisis de perfil de textura	26
5.5.3	Imagenología de la miga	28
5.5.4	Determinación de Volumen específico	28
5.5.5	Índice de absorción de grasa	29
5.5.6	Determinación de color en la corteza de la dona	30
5.5.7	Actividad de agua (Aw)	30
5.5.8	Determinación de pH	31
5.5.9	Índice de Valor de peróxido (I.V.P)	31
5.5.10	Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante	33
5.5.10.1	Obtención de extractos	33
5.5.10.2	Determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu	33
5.5.10.3	Determinación de actividad antioxidante por la técnica de DPPH	34
5.5.11	Análisis de acrilamida en donas	35
5.5.11.1	Extracción de acrilamida	35
5.5.11.2	Identificación de acrilamida	36
5.5.12	Evaluación sensorial efectiva	38
5.5.13	Análisis químico proximal	39
5.5.14	Análisis estadístico	40
VI	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
6.1	Rendimiento de la harina de cáscara de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	41

6.2	Pruebas reológicas en masas	42
6.2.1	Análisis de perfil de textura, dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad	42
6.2.2	Extensibilidad de masas	46
6.3	Parámetros físicos y químicos de las donas	48
6.3.1	Análisis de perfil de textura	48
6.3.2	Imagenología de la miga	51
6.3.3	Volumen específico	54
6.3.4	Índice de absorción de grasa	56
6.3.5	Medición de color en la corteza de las donas	58
6.3.6	Actividad de agua (Aw)	61
6.3.7	Determinación de pH en donas	62
6.3.8	Índice de valor de Valor de peróxido (I.V.P.)	64
6.3.9	Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante	66
6.3.9.1	Contenido de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu	66
6.3.9.2	Determinación de la actividad antioxidante por la técnica de DPPH	68
6.3.10	Identificación de acrilamida en donas	71
6.3.11	Evaluación sensorial efectiva	73
6.3.12	Composición químico proximal de las donas	75
VII	CONCLUSIONES	77
VIII	RECOMENDACIONES	78
IX	BIBLIOGRAFIA	79
X	ANEXOS	91

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1	Clasificación de los trigos mexicanos con base a la funcionalidad del gluten	6
CUADRO 2	Composición de aminoácidos en las proteínas del trigo	7
CUADRO 3	Valor nutricional de (<i>Oxalis tuberosa</i>) y (<i>Solanum tuberosa</i>)	10
CUADRO 4	Perfil de aminoácidos de (<i>Oxalis tuberosa</i>)	10
CUADRO 5	Contenidos de acrilamida en diferentes productos y subproductos	15
CUADRO 6	Formulación típica para la elaboración de donas	17
CUADRO 7	Tratamientos de las masas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	23
CUADRO 8	Ingredientes necesarios para la elaboración de donas	27
CUADRO 9	Condiciones detalladas de Electrospray de ionización acoplado a espectrometría de masas (ESI-MS)	37
CUADRO 10	APT en masas de harina de trigo adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	43
CUADRO 11	Distancia para extensibilidad de masas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	47
CUADRO 12	APT en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	49
CUADRO 13	Mediciones de la miga de las donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	52
CUADRO 14	Índice de absorción de grasa en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	57
CUADRO 15	Mediciones de los parámetros de color en adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	59
CUADRO 16	Actividad de agua en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	62

CUADRO 17	pH de las adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	63
CUADRO 18	Índice de valor de peróxido de donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	65
CUADRO 19	Contenido de fenoles totales para donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera	68
CUADRO 20	Porcentaje de neutralización del radical DPPH (1,1-difenil-2- picrilhidrazil) en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O. tuberosa</i>)	69
CUADRO 21	Análisis químico proximal en dona de harina de trigo y dona adicionada con harina de cáscara de papa extranjera (<i>O.</i> <i>tuberosa</i>)	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Estructura de un grano de trigo	5
FIGURA 2	Planta de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	8
FIGURA 3	Papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	9
FIGURA 4	Estructura de Acrilamida	14
FIGURA 5	Texturómetro Brookfield, utilizando el aditamento SMS/Kieffer	25
FIGURA 6	Probeta graduada con semilla de mostaza para determinación de volumen	29
FIGURA 7	Determinación de valor de peróxido	32
FIGURA 8	Equipo de Electropray de ionización acoplado a cromatografía líquida de alta resolución	38
FIGURA 9	Formato de evaluación sensorial	39
FIGURA 10	Balance de materia para la obtención de harina de papa extranjera	41
FIGURA 11	Análisis de perfil de textura en donas	49
FIGURA 12	Estructura de la miga en los diferentes tratamientos	54
FIGURA 13	Volumen (cm ³) de donas adicionadas con harina de cáscara de papa	56
FIGURA 14	Color en las donas de los diferentes tratamientos	59
FIGURA 15	Grafica de resultados para la prueba de Evaluación Sensorial	74

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

Aw	Actividad de agua
Ph	Potencial hidrogeno
µg	Microgramos
Kgf	Kilogramos fuerza
%	Porcentaje
SINAIS	Sistema Nacional de Información en Salud
CANAINPA	Cámara Nacional de la Industria de la Panificación
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazil
APT	Análisis de Perfil de Textura
mm/s	Milímetros por segundo
in ²	Pulgadas cuadradas
N	Normalidad
nm	Nanómetros
UV/VIS	Ultravioleta-visible
Mm	Milimolar
Abs	Absorbancia
ESI	Electrospray de ionización
HPLC	Cromatografía líquida de alta eficacia
ANOVA	Análisis de Varianza
Ton.	Toneladas
ha	Hectáreas

RESUMEN

El tubérculo de *Oxalis tuberosa*, que se conoce comúnmente como papa roja en México, es un producto que actualmente no se utiliza como un alimento de consumo popular, ya que solo es utilizada en la época decembrina como parte del contenido de las piñatas; es caracterizada por su sabor agridulce, además de, ser una muy buena fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes naturales, dentro de estos cabe destacar que posee ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas, lo que la hacen un alimento nutritivo y completo.

El objetivo de este trabajo de investigación fue analizar las características físicas y químicas de las masas y donas, elaboradas con harina de trigo y adicionadas con harina de papa roja *Oxalis tuberosa*. Los resultados mostraron que la dureza de las masas, aumentaba de 1.4 Kgf en el control, hasta 3.7 Kgf en el último tratamiento conforme se adicionaban con harina de papa, a su vez la elasticidad y la cohesividad disminuyeron en la mayoría de los tratamientos (0.48 a 0.32 cm y de 0.57 a 0.39 respectivamente), mientras que la adhesividad aumentó de 17.7 a 38.1 g.s, así mismo, el comportamiento en las donas fue similar, aunque en los parámetros de adhesividad y cohesividad aumentaron (de 19.3 a 34.1 g.s y de 0.12 a 0.50) mientras que la elasticidad disminuyó (0.59 a 0.53 cm).

Con estos datos se concluye que la harina de papa roja, puede tener una competencia por el agua, dando como resultado una mayor absorción de esta,

impidiendo que haya una buena formación de la red de gluten, traduciéndose finalmente en un producto más firme.

Por otra parte, de manera general los resultados obtenidos en los parámetros químicos analizados (Absorción de grasa, Aw, pH e Índice de Valor de Peróxido) fueron afectados por los antioxidantes. Sin embargo se mantuvieron dentro de los intervalos reportados en investigaciones previas, así mismo, se encontró un alto contenido de ácidos fenólicos y actividad antioxidante en las donas elaboradas con las diferentes concentraciones de (*Oxalis tuberosa*). En cuanto al análisis de acrilamida los Cromatogramas obtenidos muestran una disminución en la intensidad de la señal cuando fueron monitoreados los pesos moleculares de los aductos de acrilamida con Na y K, lo que representa un indicio del funcionamiento en la inhibición de este compuesto cancerígeno por acción de los antioxidantes presentes en la harina de papa extranjera.

ABSTRACT

Oxalis tuberosa tuber, which is commonly known as red potatoes in Mexico, is a product that is not currently used as a popular food consumption, which is only used in the holiday season as part of the content of the piñatas; is characterized by its sour flavor, plus, be a very good source of vitamins, minerals and natural antioxidants, among these include having phenolic acids, flavones and anthocyanins, which make it a nutritious and complete food.

The objective of this research was to analyze the physical and chemical characteristics of the masses and donuts, made with wheat flour and flour spiked with red potato *Oxalis tuberosa*. The results showed that the hardness of the mass increased from 1.4 Kgf in the control, to 3.7 Kgf on the last treatment as they were added potato flour turn cohesiveness elasticity and decreased in most of the treatments (0.48 to 0.32 cm and 0.57 to 0.39 respectively), while the adhesiveness increased from 17.7 to 38.1 g.s, also, the behavior donuts was similar, although the parameters of adhesiveness and cohesiveness increased (from 19.3 to 34.1 g.s and 0.12-0.50) while the elasticity decreased (from 0.59 to 0.53 cm).

With these data concludes that red potato flour, may have a competition for water, resulting in increased absorption of this by preventing formation has good gluten network, finally resulting in a firmer product.

Moreover, in general the results of the chemical parameters analyzed (fat absorption, Aw, pH and Peroxide Value Index) were affected by antioxidants. However they remained within the ranges reported in previous research, also, a high content of phenolic acids and antioxidant activity was found in donuts made with different concentrations (*Oxalis tuberosa*). For analysis of acrylamide chromatograms obtained show a decrease in signal intensity when were monitored molecular weights of acrylamide adducts with Na and K, which is indicative of operation in inhibiting the carcinogenic compound by action antioxidants present in the foreign potato flour.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe una preocupación latente referente a la alimentación, ya que desde abril de 2002 Özge (2009) y Medeiros (2012), encontraron que alimentos ricos en almidón y procesados térmicamente a temperaturas altas desarrollan un compuesto llamado Acrilamida, a la que se le atribuyen potencialmente propiedades cancerígenas y genotóxicas entre otras.

En la industria de la panificación, se procesa básicamente harina de trigo a altas temperaturas, que abarcan una extensa gama de productos con muchos ingredientes, procesos, recetas y escalas de operación lo cual resulta en formación de pequeñas cantidades de acrilamida (Özge, 2009). Dentro de los productos de panificación destacan las donas, ya que, su proceso de cocción implica un freído, que de acuerdo con ciertas investigaciones aporta una considerable ingesta de acrilamida a los consumidores (Lineback *et al.*, 2012). Por tal motivo, se han planteado algunas soluciones, como la adición de polifenoles, que contrarrestan los cambios oxidativos de los alimentos disminuyendo al mismo tiempo el estrés oxidativo en el organismo humano (Budryn *et al.*, 2013). Para ayudar a mitigar un poco este problema de salud, se buscan fuentes naturales de antioxidantes que puedan ser utilizados en la industria alimentaria, y dentro de las alternativas se encuentra una variedad de tubérculo, llamado comúnmente en México como “papa extranjera” (*Oxalis tuberosa*), a la cual se le atribuyen algunas de estas propiedades antioxidantes que podrían ser utilizadas como aditivos para disminuir la formación de algunos compuestos como la acrilamida (Chirinos *et al.*, 2009).

Según una estimación de la FAO (1991), prácticamente todos los países del mundo producen alguna especie de cultivo de raíz y tubérculo. De acuerdo con el anuario de producción de la FAO (1996), los cereales son los cultivos alimenticios más importantes del mundo con 710 millones de ha y 2049 millones de ton., luego las raíces y tubérculos en 49 millones de ha y 635.3 millones de ton. (Ortega, 1998). En México el consumo de tubérculos de tipo *Oxalis tuberosa* se remonta solo a las regiones productoras, por lo que este tubérculo es una fuente de recursos poco producido y explotado, representando posibilidades para la agricultura, la alimentación, la agroindustria y el comercio internacional. Finalmente este trabajo busca contribuir la mejora de la salud humana aportando una opción más para disminuir la ingesta de acrilamida por medio de la dieta, mejorando un producto como la dona que es un pan de consumo popular.

II. ANTECEDENTES

2.1 Consumo de pan a nivel Mundial y Nacional

El pan es un alimento extendido por prácticamente toda la superficie de la tierra. El país europeo que en la actualidad tiene el consumo más elevado de pan es Serbia con 323 g/persona/día, seguido de Montenegro con 268 g/persona/día y Croacia con 212 g/persona/día. En América, el consumo de pan no es tan elevado debido a que en la mayoría de los países de Latinoamérica este alimento se elabora con ingredientes diferentes al trigo, ubicando a Chile como el principal consumidor de pan seguido de Perú, Brasil y Colombia (Hernández & Serra 2010).

La industria de panificación en México, incluyendo pan, pasteles y galletas, tiene un valor de mercado de \$14,807 millones de dólares al año, mientras que el consumo per cápita asciende a 53.4 kilos al año y el gasto destinado a este concepto es de \$131.6 dólares (Valenzuela, 2012).

2.2 Industria de la panificación

El pan es el alimento más antiguo y consumido por el ser humano. Su origen se remonta a épocas prehistóricas donde existen claras evidencias de su uso por las diferentes civilizaciones. El pan ha sido un producto tan popular dado a que para su fabricación requiere utensilios sencillos, es un alimento altamente nutritivo y para su producción requiere ingredientes comunes como son: harina, agua, sal, azúcar, manteca vegetal y levadura. Los procesos industriales modernos de

panificación son altamente mecanizados y requieren un estricto control de calidad de la harina de trigo ya que la misma afecta variables de proceso y calidad de producto terminado. Para la manufactura del pan se siguen los siguientes pasos básicos: a) premezcla de ingredientes, b) amasado; c) fermentación; d) prensado/formado y e) horneada (Serna, 2013).

2.3 Trigo

El trigo es una planta monocotiledonea perteneciente a la familia de las gramíneas, los granos de trigo tienen una longitud media de 8 mm y el peso de 35 mg. En la Figura 1 se muestra la estructura de un grano de trigo pero cabe mencionar que la textura (dureza) y color de los granos de trigo, varían en gran medida debido al tipo de trigo (Hoseney, 1991). En términos de cosecha, producción y consumo es uno de los cereales más importantes a nivel mundial (Dhingra & Jood, 2001).

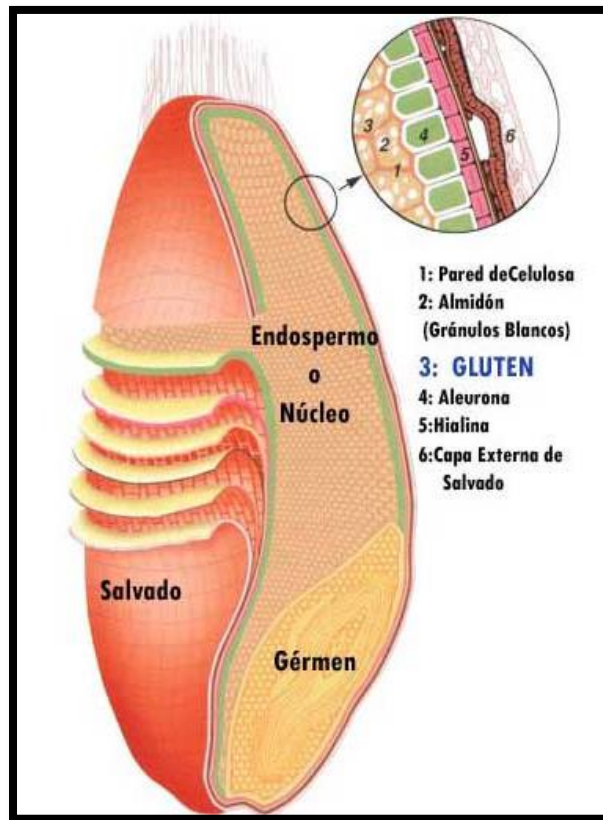


Figura 1. Estructura de un grano de trigo

2.3.1 Clasificación del trigo

En México el trigo se clasifica de acuerdo con su funcionalidad en cinco grupos (Cuadro 1). En la región noreste del país, Sonora y Norte de Sinaloa, se siembran preferentemente los trigos panaderos y cristalinos (grupos 1, 2, 4 y 5), mientras que los trigos suaves (grupo 3) se cultivan más en la región del Bajío (Estado de Guanajuato) y Estado de Chihuahua (Serna, 2013).

Cuadro 1. Clasificación de los trigos mexicanos con base a la funcionalidad del gluten

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte	Industria mecanizada de la panificación
II	Medio-fuerte	Industria artesana de la panificación
III	Suave	Industria galletera
IV	Tenaz	Industria pastelera y galletera
V	Cristalino	Industria de pastas y sopas

(Fuente: Serna, 2013)

2.3.2 Proteínas del trigo

Los cereales son importantes ya que en sus proteínas se encuentran unos 18 aminoácidos diferentes y tiene un alto contenido de ácido glutámico y prolina, sin embargo, tiene un bajo contenido de aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, tanto en el grano como en la harina. El valor biológico de las proteínas en la capa de aleurona y en el embrión es mayor y contienen de 2-2.5 veces más lisina, que las que están en el endospermo (Pérez, 2012). La calidad del trigo para pan (*Triticum aestivum* L.) depende de la calidad y cantidad de las proteínas del gluten (gluteninas y gliadinas) las cuales constituyen del 10 a 14% de las proteínas del grano. Varios parámetros cuantitativos, como son el contenido total de proteínas de la harina, el contenido de proteínas poliméricas presentes en el grano y la proporción de gluteninas y gliadinas, están relacionados a la calidad panadera. Las gliadinas son monómeros que interactúan por fuerzas no

covalentes, mientras que las gluteninas son polímeros de alto peso molecular estabilizados por puentes disulfuro, se considera que las gliadinas le dan extensibilidad y viscosidad a las masas, mientras que las gluteninas le dan elasticidad y fuerza (Díaz *et al.*, 2006). En el Cuadro 2 se muestran las cantidades de aminoácidos en las proteínas del trigo: glutenina, gliadina, albúmina y globulina.

Cuadro 2. Composición de aminoácidos en las proteínas del trigo

Aminoácido	Glutenina	Gliadina	Albumina	Globulina
Alanina	3.1	2.3	5.6	4.3
Arginina	4.2	2.7	7.5	14.5
Ácido Aspártico	3.9	3.0	7.9	6.3
Cisteína	2.5	3.1	6.7	12.6
Ácido Glutámico	34.1	40.0	17.7	5.9
Glicocola	4.5	1.8	3.1	5.6
Histidina	2.4	2.3	4.3	2.2
Hidroxilina	n.d.	n.d.	0.2	0.0
Isoleucina	3.9	4.5	4.1	1.4
Leucina	6.9	7.2	10.7	9.2
Lisina	2.3	0.7	11.0	12.2
Metionina	1.7	1.5	0.0	0.4
Fenilalanina	4-8	5.6	5.0	3.2
Prolina	11	14.7	8.4	3.3
Serina	5.9	5.1	4.7	9.1
Treonina	3.3	2.3	2.9	4.5
Triptófano	2.1	0.7	n.d.	n.d.
Tirosina	3.6	2.6	3.4	2.3
Valina	4.5	4.4	8.1	2.2

n.d: no determinado

(Fuente: Kent, 1987)

2.4 Papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

Es un tubérculo almidonado domesticado de la Región de los Andes mucho antes de los tiempos de los incas (Chirinos *et al.*, 2009).

Son plantas anuales herbáceas, arbustivas, pocas veces arborescentes, a menudo provistas de bulbos subterráneos o tubérculos (Figura 2). Su color superficial varía del blanco a crema, amarillo, naranja, rosa y morado y su cosecha se efectúa de seis a ocho meses. A esta familia se asignan entre 5 y 7 géneros con cerca de 900 especies distribuidas ampliamente en regiones templadas y tropicales de ambos hemisferios (Pérez, 2009).



Figura 2. Planta de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

De acuerdo con algunas definiciones el tubérculo es un tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta, generalmente poseen una yema central de forma plana y circular (Figura 3). El cultivo de papa extranjera fue introducido en México hace unos 200 ó 300 años, y es hoy en día relativamente importante en la zona centro del país pues se suele consumir de forma natural o en algunas preparaciones como atoles y sopas, cuenta con un sabor agridulce debido a su concentración de oxalatos (Pérez, 2009).



Figura 3. Papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

2.4.1 Composición química de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

El tubérculo de la papa extranjera es comparado nutricionalmente con la papa (*Solanum tuberosa*) (Cuadro 3) y se considera como una buena fuente de hidratos de carbono, calcio y hierro (Chirinos *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Valor nutricional de (*Oxalis tuberosa*) y (*Solanum tuberosa*)

COMPONENTE	(<i>Oxalis tuberosa</i>) g/100 g	(<i>Solanum tuberosa</i>) g/100 g
Proteína	5.7	2
Carbohidratos	8.5	14.7
Grasa	0.55	0.1
Cenizas	2.7	1
Fibra	4.55	2.2
Humedad	82.4	80
Calorías/100 gr	371.35	87
Calcio	(40-247 ppm DM)	7 mg/100 g
Hierro	(8-49 ppm MS)	4 mg/100 g

(Fuente: Modificado de Steven, 1987)

La calidad de las proteínas de los cultivos de raíces y tubérculos, en términos de balance de aminoácidos presentes, puede compararse con la de las proteínas de origen animal. En casi todas las proteínas de las raíces y tubérculos, al igual que en las leguminosas los aminoácidos limitantes son los azufrados (Ortega, 1998). En el Cuadro 4 se muestra el contenido de aminoácidos de *Oxalis tuberosa*.

Cuadro 4. Perfil de aminoácidos de (*Oxalis tuberosa*)

Aminoácido	mg de aminoácido/g proteína
Lisina	58
Treonina	46
Valina	37
Isoleucina	41
Leucina	56.5
kFenilalanina + Tirosina	62.5
Triptófano	6.75
Metionina + Cisteína	29.5

(Fuente: Steven, 1987)

Los tubérculos del género (*Oxalis tuberosa*) poseen propiedades antioxidativas ya que cuentan con ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas (estos solo para el genotipo morado) que contribuyen más a la capacidad antioxidante de este tubérculo (Chirinos *et al.*, 2009). Su cultivo se da en lugares con alturas que comprende entre 2800 y 4000 msnm (Pérez, 2009). Chirinos *et al.* (2009) demostraron que la papa extranjera contiene una cantidad importante de antioxidantes fotoquímicos. Se denomina antioxidante a las moléculas que previenen la oxidación de otras moléculas, dentro de los antioxidantes más conocidos están los compuestos fenólicos que son metabolitos secundarios de las plantas, en diversas estructuras y amplia distribución filogenética. Los compuestos fenólicos se pueden clasificar en diferentes grupos principalmente en función del número de anillos de fenol y el contenido en la base de elementos estructurales que se unen a estos; y se clasifican en ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzoicos y hidroxicinámicos), estilbenos, ligninas y flavonoides (flavonoides, antocianos, flavonoles, flavonas y flavanones) (Rytel *et al.*, 2014).

2.5 Alimentos de panificación fritos

Los productos de panificación fritos como las donas son alimentos con atractivo sabor y textura, ya que tienen una miga suave y húmeda con una corteza crujiente lo cual aumenta su palatabilidad (Kim *et al.*, 2014); estos alimentos absorben gran cantidad de aceite durante el freído, aportando un promedio de 300 calorías y 25 g de grasa a la dieta (Jaya, 2010).

La fritura es un proceso físico-químico complejo, en el cual el producto a freír se introduce crudo o cocido en el aceite durante determinado tiempo a temperaturas entre 175°C-195°C, para favorecer una rápida coagulación de las proteínas de la superficie del producto y provocar una casi impermeabilización del mismo, la que controla la pérdida de agua desde su interior, convirtiéndose en vapor (Fedeli, 1998).

El proceso de fritura puede realizarse en dos formas:

Superficial (Shallow frying): se sumerge en el aceite la superficie del alimento que se desea freír, se realiza normalmente en sartenes o recipientes de poca profundidad y con bajo nivel de aceite, el producto no queda totalmente cubierto por éste. La parte del alimento sumergida se fríe y la que no está en contacto con el aceite se cuece debido del vapor intenso que se va desprendiendo del mismo producto al calentarse (Rossel, 1998).

Total (Deep frying): se sumerge la dona totalmente en el aceite, empleando freidoras caseras o industriales o en recipiente, en el cual el producto este totalmente cubierto por el aceite y así el proceso de freído ocurra uniformemente sobre toda la superficie de la dona (Rossel, 1998).

2.5.1 Compuestos producidos por altas temperaturas durante la fabricación de las donas

Durante la industrialización y preparación de la mayoría de los alimentos, comúnmente se emplean distintos tratamientos térmicos tales como la pasteurización, la esterilización, el cocimiento, el horneado, el freído, etc. Cada

uno de ellos se efectúa en distintas condiciones de temperatura, lo cual favorece diversos cambios químicos. De igual manera, debido a la complejidad de las características y composición de los alimentos, durante su calentamiento se generan muchas sustancias orgánicas cíclicas, tales como pirazinas, pirimidinas, furanos y derivados del antraceno. Muchas de estas reacciones son las responsables del aroma y del sabor de los alimentos, pero otras están asociadas con la producción de cáncer (Masson *et al.*, 2007).

El horneado es un proceso complejo en el que se produce un gradiente de temperatura dentro del producto como resultado de la interacción de calor y la transferencia de masa. Este comportamiento hace que tanto los parámetros físicos (temperatura de cocción y las dimensiones del producto) como los parámetros químicos sean tan eficaces en la tasa de formación de acrilamida en los alimentos de panadería (Ahrné *et al.*, 2007; Knowles, 2009).

2.5.2 Acrilamida

La acrilamida es un monómero utilizado a nivel industrial, está presente en el humo de tabaco, y es usado en la síntesis de poliacrilamida para su utilización en procesos como purificación de agua, separación de proteínas para bioquímica analítica y acondicionamiento de suelos (Allan 2002, Enríquez-Fernández *et al.*, 2010). La acrilamida se produce en alimentos consumidos comúnmente en las dietas en todo el mundo (Cuadro 4) y se le considera como un potencial carcinogénico según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el

Cáncer (IARC) la cual ha clasificado la acrilamida dentro del Grupo 2A como "probablemente cancerígeno para los seres humanos" ya que la acrilamida forma un aducto específico entre esta y la hemoglobina humana (Masson *et al.*, 2007; Lineback *et al.*, 2012); sus sinónimos son monómeros de acrilamida o propenamida.

Diversos estudios han demostrado la presencia de acrilamida principalmente en los que son ricos en hidratos de carbono (El-Ziney *et al.*, 2009) siendo las altas temperaturas y el poco contenido proteico un factor que contribuye a la formación de este monómero. Posteriormente los estudios fueron encaminados a los mecanismos de formación para lo cual los investigadores encontraron similitud entre la estructura química de la acrilamida y el aminoácido asparagina; finalmente en la actualidad se conoce la versión de que acrilamida se forma durante la reacción de Maillard entre la asparagina libre y los azúcares reductores tales como glucosa y fructosa (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002). Durante la reacción de Maillard, se puede formar a partir de asparagina y glucosa. Este compuesto se origina con la reacción del grupo de las proteínas (NH₂) y el grupo carbonilo (COH) de los azúcares, en la Figura 4 se muestra su estructura molecular de acrilamida.

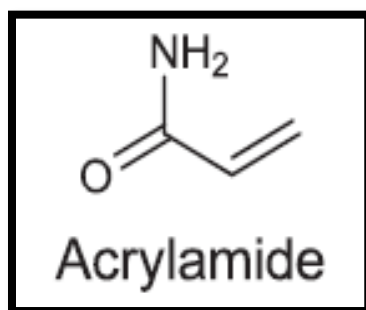


Figura 4. Estructura de Acrilamida

La acrilamida se produce en una amplia variedad de productos y alimentos que diariamente se consumen en las dietas de todo el mundo, algunos ejemplos de alimentos y grupos de alimentos se muestran en el Cuadro 5 (Lineback *et al.*, 2012).

Cuadro 5. Contenidos de acrilamida en diferentes productos y subproductos.

Producto/Grupo de productos	Rango de acrilamida ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
Papas crudas	<10 - <50
Papas fritas	117 - 4,215
Papas fritas a la francesa	59 - 5,200
Productos de panadería (donas) y galletas	18 - 3,324
Pan	<10 - 3,200
Pan tostado	25 - 1,430
Cereales de desayuno	<10 - 1,649
Otros productos vegetales y frutas	<10 – 70
Productos de chocolate	<2 – 826
Café tostado	45 – 935
Sustituto de café	80 - 5,399
Extracto/polvo de café	87 – 1188
Carnes	<10 – 116
Productos lácteos	<10 – 100
Alimentación para niños y lactantes	<10 – 130

(Fuente: Lineback *et al.*, 2012)

Estudios recientes (Chirinos *et al.*, 2009; Budryn *et al.*, 2012) reportan que la adición de antioxidantes en alimentos sometidos a altas temperaturas provoca una disminución de la cantidad de acrilamida formada, sin embargo Shiyi *et al.* (2010) encontraron que la adición de antioxidantes podría inhibir la formación de acrilamida en los alimentos procesados a altas temperaturas por tres mecanismos: 1) destruyendo la acrilamida por sus productos oxidados 2) por la formación de quinonas o compuestos carbonilos, que posteriormente reaccionan con el formador de acrilamida que es la asparagina y 3) mediante la inhibición de compuestos carbonilo a partir del aceite del freído.

2.6 Donas

Las donas son productos de repostería que en lugar de ser horneados son generalmente freídas. Las donas o también conocidas como rosquillas se caracterizan por un color exterior marrón dorado, una corteza crujiente, y un núcleo interno que se asemeja a un producto horneado más que un alimento frito. Sin embargo, las donas son alimentos fritos y que absorben sustancialmente cantidades de aceite durante la fritura (Shih *et al.*, 2001).

Existen dos clases de donas: las leudadas (fermentadas) con levadura o leudadas con agentes químicos. Las primeras son freídas en aceite, mientras que las segundas son generalmente horneadas. Las donas leudadas con agentes químicos siguen los principios básicos de elaboración de otros productos de repostería. Las harinas más apropiadas para la elaboración de donas fermentadas tienen propiedades intermedias entre harinas galleteras y panaderas. Por lo tanto

las fórmulas comerciales consisten en mezclas de las dos. Las donas más populares son las sujetas a un proceso de fermentación con levaduras antes de su formación y freído (Serna, 2013). En el Cuadro 6 se muestran los ingredientes necesarios para la elaboración de donas.

Cuadro 6. Formulación típica para la elaboración de donas.

INGREDIENTE	% PANADERO
Harina de trigo	53.62
Leche en polvo	1.07
Levadura	1.07
Azúcar	6.4
Agua	16.08
Grasa	5.4
Sal	0.27
Huevo	16.08

(Fuente: Güemes, 1998).

2.6.1 Función de los ingredientes

1. **Harina:** las harinas de trigo más adecuadas para la fabricación de donas son débiles o mezclas de harinas débil y fuerte, sin causar dureza excesiva.
2. **Azúcar:** es el sustrato de la levadura para llevar a cabo el proceso de fermentación, controlando la suavidad, dulzura, y frescura del producto.
3. **Grasa:** se utiliza dentro de la formulación de donas para lubricar el sistema, mejorando el desempeño de la harina y la expansión del batido.

4. **Huevo:** contribuye a la estructura, volumen y mejoran el tiempo de leudado y la calidad comestible.
5. **Leche descremada en polvo:** contribuye al color de la corteza y a la vida fresca del producto, mejora la retención de gas de la fermentación.
6. **Sal:** se utiliza básicamente para intensificar los sabores de los demás ingredientes.
7. **Agua:** proporciona hidratación a la harina durante el mezclado, para lograr una masa de consistencia apropiada, también actúa como disolvente de los ingredientes.
8. **Levadura:** se emplea la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, tiene varias funciones durante el proceso de panificación. Las más importantes son: incrementar el volumen de la masa por generación de gas producido durante la fermentación de los carbohidratos disponibles. Forma precursores de sabor mediante la generación de subproductos de la fermentación alcohólica (Hoseney, 1991; Mérida, 2012).

2.6.2 Elaboración de donas fermentadas

La masa es de tipo bizcocho y la fermentación se lleva a cabo por medio de levaduras, en este proceso la harina de trigo se mezcla con los otros ingredientes de panificación, para formar la masa antes mencionada y así desarrolle propiamente el gluten, luego se lamina y cortan las donas con cortadores especiales y son colocadas en charolas dentro de un fermentador con temperatura

(máxima de 30°C) y humedad (85% de humedad relativa) controladas, por un tiempo de aproximadamente 30 min hasta obtener una altura determinada, finalmente el proceso de cocción se realiza por freído total (deep frying). Sistemáticamente las etapas que se realizan para la elaboración de donas son: preparación de la masa por método directo, fermentación, laminado, cortado y freído (Brown, 1988; Serna, 2013).

2.6.3 Mercado comercial de las donas

De acuerdo con un reportaje publicado en (2009) por la revista *Énfasis*, Alimentación llamado Tendencias de consumo e Innovaciones en panificados, los consumidores están optando con mayor frecuencia por porciones de pan más saludables, funcionales, de elaboración industrial por lo que las ventas de productos de pastelería fueron las que más aumentaron durante 2008 en un 37%; y dentro de este rubro cabe resaltar que las donas tienen un 17% de las ventas y cuentan con un mercado creciente. Dentro de los países con mayor consumo de productos fritos como papas, nuggets de pollo frito y donas se encuentra Estados Unidos siendo el primer consumidor de comida rápida (Melito & Farkas, 2013).

III. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación se llevo a cabo debido a que la formación de acrilamida en productos de panificación se ha convertido en un importante problema de salud ya que es un factor para la aparición de cáncer, en México el Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS) en 2008 reportó que de 7.6 millones de defunciones el 13% de estas fueron causadas por esta enfermedad. Los productos fritos como las donas contribuyen de manera sustancial a la ingesta de acrilamida es por ello que se busco una alternativa que pudiera aminorar este problema. En el año 2012, se informo que la adición de antioxidantes en productos de panificación reducía la formación de acrilamida por tal motivo se empleo la harina de cáscara de papa extranjera en la formulación de las donas debido a que, hay algunos estudios que han demostrado que este tubérculo es buena fuente de compuestos naturales con capacidad antioxidante y en nuestro país es consumido de forma popular, por lo que es importante buscar alternativas que disminuyan la formación de estos compuestos cancerígenos.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Estudiar el efecto de la actividad antioxidante de harina de cáscara de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*), para la disminución de acrilamida en productos de panificación fritos (donas).

4.2 Objetivos Particulares

- Seleccionar mediante pruebas reológicas en las mezclas de masas de harina de trigo y de cáscara de (*Oxalis tuberosa*), la mejor formulación de estas, para la elaboración de donas.
- Determinar peso, volumen, calidad de la miga, análisis de perfil de textura, evaluación sensorial y análisis químico proximal de la dona, para obtener las mejores características físicas y químicas.
- Medir la capacidad antioxidante de la harina de cáscara de papa y de la dona mediante el método por DPPH, así como la cuantificación de fenoles totales
- Realizar el análisis del contenido de acrilamida a través de Electropray de ionización–espectrometría de masas, en donas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materias primas

La papa extranjera (*Oxalis tuberosa*), se adquirió en el tianguis de Tulancingo Hidalgo; la Harina de trigo (Selecta), levadura (Tredi-pan), grasa vegetal (Inca), leche en polvo (Nido) y azúcar, (en paréntesis se señala la marca comercial) fueron adquiridas de un supermercado local.

5.2 Obtención de harina de cáscara de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

Para la obtención de harina de cáscara de papa se llevo a cabo un lavado (con agua, jabón y cloro al 1%), en seguida fue pelada con un pela papas convencional, se seco solo la cáscara en un horno (marca Luckie San Juan) durante un tiempo aproximado de 6 h a una temperatura de 50-60°C, finalmente fue molida la cáscara seca en una licuadora industrial por un tiempo aproximado de 4 a 6 min; la harina que se obtuvo fue tamizada con una malla cuadrada marca Tyler no. 40-425µm, de diámetro de alambre de 0.28 mm y posteriormente se guardo en frascos herméticos para su uso posterior.

5.3 Diseño de tratamientos

Se formularon 5 mezclas que fueron realizadas con 100 g de harina de trigo adicionando 10, 20, 30, 40 y 50 g de harina de cáscara de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) como se muestra en el Cuadro 7, estas masas elaboradas fueron evaluadas por medio de pruebas reológicas.

Cuadro 7. Tratamientos de las masas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

Tratamientos	Harina de Trigo (g)	Harina de cáscara (<i>Oxalis tuberosa</i>) (g)
Control	100	0
1	100	10
2	100	20
3	100	30
4	100	40
5	100	50

5.4 Pruebas reológicas en masas

5.4.1 Análisis de Perfil de Textura

La textura de las masas se determinó siguiendo la metodología de Pérez (2012), empleando un texturómetro marca Brookfield (Texture Analyzer). La prueba consistió en comprimir dos veces consecutivas 50 g de masa, con un embolo de 1 in² de diámetro; se empleó una celda de carga de 4.5 Kg, con una velocidad de 10 mm/s. De esta prueba se obtuvieron gráficas, de fuerza-tiempo y se midieron los siguientes parámetros: dureza, que es la altura del pico máximo del gráfico, cohesividad, que es la razón entre las áreas de la curva correspondiente solo a las bajadas del embolo, adhesividad, cohesividad y finalmente elasticidad, que se define como la altura que recobra el alimento durante el tiempo que pasa entre el final de la primera comprensión y el máximo de la segunda.

5.4.2 Prueba de extensibilidad

Siguiendo el Método 54-10 A.A.C. (1995) fue determinada la extensibilidad en masas. El diámetro de Kieffer acoplado al texturómetro (Figura 5), mide la estabilidad y resistencia de la masa. Para esta prueba se tomaron 20 g de harina de cada tratamiento y se amasaron con agua destilada, después se colocaron en una prensa por un periodo de 45 min, la masa fue elongada mediante un gancho que se mueve a velocidad constante hasta lograr su rompimiento.

La resistencia de la masa a la tensión hasta llegar al rompimiento, se traduce en una curva que gráfica la resistencia o tenacidad R en el eje de las Y (R máximo o altura máxima de la curva) y la extensibilidad E en el eje de las X . La relación R/E es un importante factor para determinar la fuerza y características funcionales de la harina de trigo. El área bajo la curva, es el trabajo realizado por el instrumento para romper la masa y da una indicación de la fuerza de la misma.

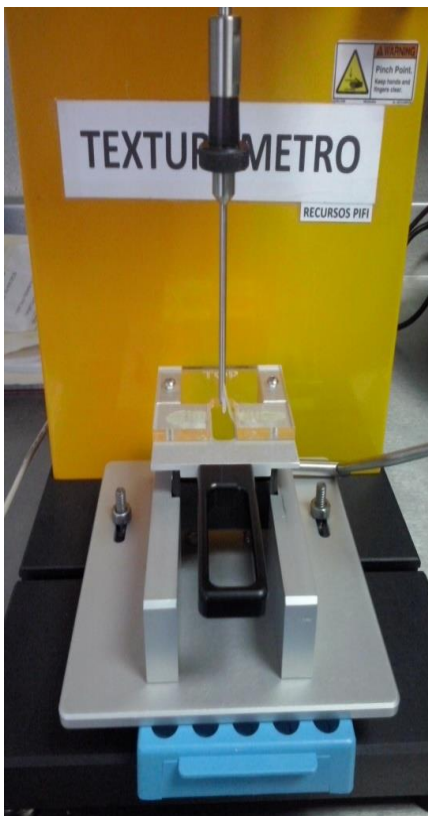


Figura 5. Texturómetro Brookfield, utilizando el aditamento SMS/Kieffer

5.4.3 Obtención de resultados de parámetros de textura en masa y análisis estadístico

Los resultados para la prueba de extensibilidad, y análisis de perfil de textura de las masas; fueron obtenidos usando el software del texturómetro marca Brookfield (Texture Analyzer), con los datos obtenidos fue realizado un análisis bajo un diseño experimental completamente al azar, empleando un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Dunnet con una probabilidad de $p < 0.05$ para cada variable con el programa SAS (Statistic Analysis System) versión 2000.

5.5 Método de panificación para elaboración de donas

Para la elaboración de donas fue empleada la metodología de Mérida (2012) de masa directa, con los ingredientes mencionados en el Cuadro 8, con un tiempo de amasado de 15-20 min. Seguido del laminando de masa a 1 cm. de grosor y las piezas se obtuvieron con un cortador especial para donas.

5.5.1 Parámetros físicos y químicos de las donas

5.5.2 Análisis de Perfil de Textura

El Cuadro 8, muestra los ingredientes en porcentaje panadero ya que es el estándar utilizado y la cantidad en gramos ocupada de cada ingrediente para la

elaboración de donas, a las que les fue aplicado el análisis de perfil de textura, dicha prueba fue realizada en un texturómetro Brookfield marca (Texture Analyzer) y siguiendo la metodología de Mérida (2012); la cual consistió en comprimir hasta un 20% de deformación dos veces consecutivas una parte de la circunferencia de la dona, con un embolo de 1 in² de diámetro; se empleó una celda de carga de 4.5 Kg, con una velocidad de 1 mm/s, obteniéndose gráficas, de fuerza-tiempo midiéndose los siguientes parámetros: dureza, que es la altura del pico máximo de la gráfico, cohesividad, que es la razón entre las áreas de la curva correspondiente solo a las bajadas del embolo, adhesividad y finalmente elasticidad, definiéndose como la altura que recobra el alimento durante el tiempo que pasa entre el final de la primera comprensión y el máximo de la segunda.

Cuadro 8. Ingredientes necesarios para la elaboración de donas

INGREDIENTE	% panadero	Cantidad (g)
Harina de trigo	53.62	402.15
Leche en polvo	1.07	8.00
Levadura	1.07	8.00
Azúcar	6.4	48.00
Agua	16.08	120.6
Grasa	5.4	40.00
Sal	0.27	2.0
Huevo	16.08	120.6
Total	100.00	749.35

(Fuente: Güemes, 1998)

5.5.3 Imagenología de la miga

Para determinar la calidad de la miga fue usado el Método 10-50 A.A.C.C. (1995). Las donas fueron cortadas verticalmente colocándose sobre un equipo de escáner HP Laser Jet 3052, para obtener configuraciones de la miga. Posteriormente fueron analizadas en el programa analizador de imagen digital Digimizer versión 4.0.

5.5.4 Determinación de volumen específico

Para la evaluación de este parámetro fue empleado el método de desplazamiento de semillas de nabo de acuerdo con el método utilizado por Güemes (1998) como se muestra en la Figura 6, el cual consistió en llenar una probeta con semilla de nabo hasta una marca conocida, posteriormente fue sumergida la dona y nuevamente se tomo la medida. El volumen fue determinado por diferencia entre estos siendo expresado en cm^3 .



Figura 6. Probeta graduada con semilla de mostaza para determinación de volumen

5.5.5 Índice de absorción de grasa

Fue evaluado de acuerdo con lo reportado por Mérida (2012), mediante el peso después de ser fermentadas por 30 min a 45°C, obteniéndose este parámetro por acción de pesaje en una báscula granataría (EDEM ADAM), posteriormente después de realizárseles un proceso de freído (bajo un sistema de freído profundo deep frying), a una temperatura de 180-190°C por 30 segundos para cada lado de la dona, fue registrado nuevamente el peso.

5.5.6 Determinación de color en la corteza de la dona

El color en las muestras fue determinado a través de la metodología citada por Pérez 2012, a través de los parámetros L^* , a^* y b^* , utilizando un colorímetro Minolta modelo 508d, que utiliza el sistema internacional CIELAB con iluminante C y un ángulo observador de 10° . Fueron hechas 3 mediciones de color sobre la superficie de cada porción de donas y registrados los valores de L^* , a^* y b^* , con los cuales se calcularon la cromaticidad (C^*) y el ángulo de matiz (h°). En el espacio de color (L^* , a^* y b^*), el coeficiente de luminosidad L , tiene un intervalo de negro= 0 a blanco= 100. Las coordenadas (a^* , b^*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L^* .

El color en el origen ($a^*= 0$, $b^*= 0$) es acromático (gris). Sobre el eje horizontal x , a^* positivo indica las tonalidades de rojo y a^* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical y , b^* positivo indica amarillo, b^* negativo indica azul

5.5.7 Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua fue medida empleando la metodología de Budryn *et al.* (2013), usando un HygroPalm AW-1. Una fracción de la dona (2 g) fue colocado en un vial WP-40 el cual fue cerrado por alrededor de 10 min a 23°C , una vez abierto fue puesto en la placa del aparato y cerrado con una sonda AW-DIO, posteriormente fue tomada la lectura.

5.5.8 Determinación de pH

Para determinar el pH fue utilizada la metodología de Budryn *et al.* (2013) pesando 5 g de muestra los cuales fueron mezclados con 100 mL de agua destilada recién hervida (enfriada a una temperatura de 40-50°C aproximadamente) y la mezcla estuvo durante 1 h en periodos de agitación suave por 15 min. Posteriormente fue obtenido el pH con el uso del potenciómetro Hanna HI 2211 Ph/ORP Meter y calibrado con buffers de 4 y 7.

5.5.9 Índice de Valor de peróxido (I.V.P.)

La metodología fue elaborada siguiendo las indicaciones de Budryn *et al.* 2013. Dado que 1 mL de tiosulfato de sodio 0.01 N representa 80 microgramos de O₂ y que el índice de peróxido corresponde a la cantidad de microgramos de oxígeno activo en un gramo de sustancia, para este trabajo de investigación fue necesaria la utilización de ciertos reactivos como disolución de tiosulfato de sodio 0.01 N; disolución de ácido acético y cloroformo (3:2) en la proporción de tres volúmenes de ácido acético glacial, por dos de cloroformo; disolución saturada de yoduro de potasio recientemente preparada, disolución indicadora de almidón (mezclando almidón con agua fría). Posteriormente fueron pesados 5 g del aceite utilizado en cada lote de la elaboración de las donas enseguida fueron agregados 20 mL de disolución de ácido acético y cloroformo y 1 mL de yoduro de potasio agitando durante 1 min seguido de un reposo de 15 min, protegidas de la luz. Finalmente fueron agregados 25 mL de agua destilada, en agitación suave. Concluyendo con

la valoración de tiosulfato de sodio, hasta obtener un ligero color amarillo en la fase acuosa (Figura 7). Después de agregar 5 mL de disolución de almidón (al 1%), la valoración continuaba hasta la desaparición del color azul en la fase acuosa. Se hizo una prueba testigo y en cada caso fueron anotados los mililitros de disolución de tiosulfato gastados en las valoraciones. Por último fue determinado el índice de peróxido empleando la fórmula que se muestra a continuación.

$$I.P. = \frac{(A - B) 80}{P}$$

I.P = Índice de peróxido expresado hasta una cifra decimal

A = Cantidad de mililitros de tiosulfato de sodio 0.01 N utilizada en P gramos de muestra

B = Cantidad de mililitros de tiosulfato de sodio 0.01 N usada en el testigo

P = Gramos de muestra

80 = Miliequivalente del tiosulfato



Figura 7. Determinación de valor de peróxido

5.5.10 Contenido de fenoles y actividad antioxidante

5.5.10.1 Obtención de extractos

En un mortero de porcelana se molieron finamente fragmentos de donas recién elaboradas de cada formulación, se prosiguió a pesar 0.2 g de las muestras y se diluyeron en 10 mL de metanol, sometiéndolo a agitación constante en vasos de precipitado cubiertos de la luz con papel aluminio durante dos horas posteriormente fueron centrifugados a 4000 rpm.

5.5.10.2 Determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.

Para la ejecución de este método se hicieron unas modificaciones en cuanto a las cantidades de reactivos utilizados de la técnica de Singleton *et al.* (1999) en la cual se preparó una solución de carbonato de sodio Na_2CO_3 al 20%. Las muestras fueron preparadas colocando 1.5 mL del extracto en tubos de ensayo, adicionando 6.5 mL de agua destilada y 0.5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, posteriormente fue mezclado en un vórtex, después se añadieron 1.5 mL de la solución de carbonato de sodio, y fueron agitados nuevamente reposando por un período de 2 h contando a partir de la adición de carbonato de sodio al primer tubo, transcurrido este tiempo se procedió a leer en espectrofotómetro a 760 nm. Dado que los resultados debieron ser expresados en equivalentes de ácido gálico, fue necesario elaborar previamente la respectiva curva patrón con las siguientes concentraciones 0, 0.5, 1, 1.5, 2.5 y 5 mg/L, para ello se preparó una solución

madre de ácido gálico con una concentración de 20 µg/mL realizado en la oscuridad para evitar oxidación.

5.5.10.3 Determinación de la actividad antioxidante por técnica de DPPH

Para la ejecución de esta técnica se emplearon las indicaciones de Brand-Williams *et. al.* (1995), donde primero fue preparado el DPPH a 0.1 mM diluyéndolo en metanol al 80%, posteriormente es estabilizado el radical a una absorbancia de 0.700 nm; a partir de esta disolución, se preparan cinco disoluciones de un volumen de 10 mL de concentraciones 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.1 mM, además se preparó un blanco que únicamente contenía 10 mL de disolvente, se midieron las absorbancias de estas disoluciones a una longitud de onda de 0.700 nm para obtener la curva que determina la concentración de radical:

$$[\text{DPPH}] = (a \times \text{Abs}_{517}) + b.$$

Para medir actividad antioxidante de los extractos previamente obtenidos son medidos 2 mL de la disolución de DPPH 0.1 mM y se añade 0.5 mL de cada uno de los extractos leyendo la absorbancia con la longitud de onda mencionada anteriormente. Se determinara el tiempo en que la concentración de DPPH se reduce a la mitad y el porcentaje de inhibición a los 30 min, calculado como $[(A_o - A_e)/A_o] \times 100$, donde A_o es la absorbancia sin extracto y A_e es la absorbancia con extracto.

5.5.11 Análisis de acrilamida en las donas

5.5.11.1 Extracción de Acrilamida

Para esta prueba se siguieron las indicaciones empleadas por Claus *et al.* (2005) empleando agua destilada ó Milli-Q-Plus; Hexano; Solución estándar de acrilamida (disolviendo 215.5 mg de acrilamida en 100 mL de agua destilada); Carrez I (Ferrocianuro potásico $\text{Fe}(\text{CN})_6\text{Fe}_4$) y Carrez II (Acetato de Zinc $(\text{AcO})_2\text{Zn}_2\text{H}_2\text{O}$), los cuales fueron preparados de la siguiente manera: para el Carrez I, fueron pesados 15 g de Ferrocianuro potásico y mezclados con 100 mL de agua destilada y para Carrez II, fueron pesados 30 g de Acetato de Zinc disueltos con 100 mL de agua destilada

Para la ejecución de dicha técnica fueron tomados 2 g de muestra las cuales fueron adicionadas con 100 μl de solución estándar de acrilamida y se agregaron 20 mL de agua posteriormente las muestras fueron centrifugadas por 30 min a 60°C a 257 rpm y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, después nuevamente centrifugadas a 4°C por 20 min a 6000 rpm; el precipitado y el sobrenadante fueron desgrasados con hexano (20 mL) en agitación (a 257 rpm) durante 5 min la capa de hexano se eliminó y el procedimiento se repite dos veces más. Desgrasadas las muestras fueron mezcladas con 1 mL del reactivo Carrez I y 1 mL de Carrez II y son centrifugadas una vez más a 4°C por 20 min a 6000 rpm, por último las muestras son filtradas y almacenadas en recipientes cubiertos de la luz y en refrigeración.

5.5.11.2 Identificación de acrilamida

El análisis fue llevado a cabo usando un equipo de Electro spray de ionización (ESI) marca MicrOTOF-Q-II con un software Hystar, acoplado a cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) marca Thermo Scientific (Figura 8); utilizando la metodología de Claus *et al.* (2005).

La fase móvil fue de 1% de Acetonitrilo y 0.05% de ácido fórmico en agua (Eluyente A) a una velocidad de flujo de 0,2 mL/min y el tiempo total de funcionamiento fue de 10 minutos. Antes de utilizar el HPLC se filtraron las muestras usando papel filtro (con retención de partículas de 2-3 μm), enseguida fue purgado el equipo y finalmente se acondiciono. El espectrómetro de masas se hizo funcionar en el modo de ion positivo; el nitrógeno se utiliza tanto para el secado como para gas de nebulización. Se utilizó helio como gas de colisión para una presión de 4×10^{-6} mbar. Para el peso molecular de acrilamida se encontró señales en 109.039 m/z y se aislaron con una anchura del pico de 0.6 m/z . En el Cuadro 9 se muestran las condiciones detalladas de (ESI-MS) incluyendo parámetros de sintonización.

Cuadro 9. Condiciones detalladas de Electrospray de ionización acoplado a espectrometría de masas (ESI-MS)

Partes del equipo	Condiciones
Cromatografía líquida	
Columna	C ₁₈ precolumna (4.0 x 3.0 mm)
Temperatura de la columna	30°C
Fase Móvil	(a) Acetonitrilo 1%/ácido fórmico en agua 0.05% (b) 80% ACN/20% agua
Volumen de inyección	40 µL
Velocidad de flujo	0.2 mL/min
Tiempo total de la corrida	10 min
Espectrometría de masas	
Ionización	Electrospray
Polaridad	Positiva
Rango de escaneo	<i>m/z</i> 30-400
Nebulizador	Nitrógeno 30.0 psi
Gas seco	Nitrógeno; 8 L/min; 3658C
Capilaridad de salida	50.0 V
Capilaridad HV	2238 V
Unidad Trampa	30.1
Espumadera	25.75 V
Octopol RF	30.0 Vpp
Espectrometría de masas	
Aislamiento	<i>m/z</i> 72.3, <i>m/z</i> 75.3; peak width <i>m/z</i> 0.6
Fragmentación	amplitud de corte: 35/1.55 V (<i>m/z</i> 72.3); 35/1.50 V (<i>m/z</i> 75.3)

(Fuente:Claus *et al.*, 2005).



Figura 8. Equipo de electrospray de ionización acoplado a cromatografía líquida de alta resolución

5.5.12 Evaluación sensorial efectiva

Se realizó una prueba de evaluación sensorial de acuerdo a Anzaldúa (1994), de nivel de agrado de satisfacción, con una escala hedónica de 7 puntos, participaron 30 consumidores que evaluaron el producto, el formato utilizado se aprecia en la Figura 9.

	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Instituto de Ciencias Agropecuarias Maestría en ciencia de los Alimentos	
-Evaluación sensorial-		
Producto: Donas de trigo, adicionadas con harina de cascara de papa extranjera		
Edad: _____	Sexo: _____	Fecha: _____
Escolaridad: _____		
Instrucciones: pruebe las muestras de donas que se presentan, marcadas con el código 587 Y posteriormente la muestra marcada con el numero 128. Marque con una X en el lugar que indique su opinión acerca de la muestra.		
Escala	587	128
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me gusta ligeramente		
Ni me gusta, ni me disgusta		
Me gusta ligeramente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		
Comentarios:		
¡Muchas gracias!		

Figura 9. Formato de evaluación sensorial

5.5.13 Análisis químico proximal

Se procedió a un análisis químico proximal de la dona testigo y formulación óptima de las adicionadas con harina de cáscara de papa, determinando humedad, cenizas, grasa, proteína y fibra, de acuerdo con los métodos de la A.O.A.C. (1995) 925.10, 923.03, 30.10, 955.04 y 32.10 respectivamente.

5.5.14 Análisis estadístico

En este trabajo de investigación fue utilizado un diseño completamente al azar, los datos de las masas y de las donas elaboradas, fueron estudiados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95%, posteriormente fue utilizada una prueba de comparación de medias Dunnett, con el fin de determinar diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos. Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS, 2002.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Rendimiento de la harina de cáscara de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*).

En la Figura 10 se muestra el balance de materia para la obtención de harina de cáscara de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*); para lo cual fueron empleados 45 kg de papa, de los cuales se obtuvo 3.650 kg de cáscara de papa sin secar, constituyendo finalmente 1.340 kg de harina lista para ser adicionada en la formulación de las donas.

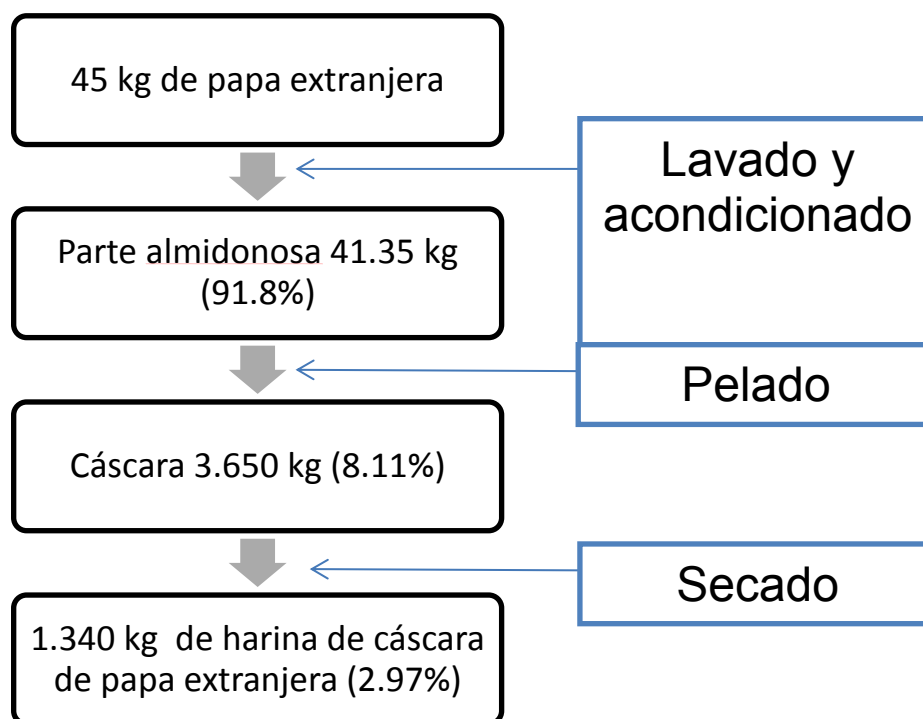


Figura 10. Balance de materia para la obtención de harina de papa extranjera

6.2 Pruebas reológicas en masas

6.2.1 Análisis de Perfil de Textura, dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos de Análisis de Perfil de Textura para cada una de las mezclas de los diferentes tratamientos.

Dureza

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos de Análisis de Perfil de Textura en masas para dureza que se efectuó para cada una de las mezclas de los diferentes tratamientos. De acuerdo con el ANOVA que se realizó al incorporar paulatinamente harina de cáscara de papa en las masas hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) incrementando en los valores de dureza. La masa control de harina de trigo presentó una dureza de 1.4 (kgf) y todos los tratamientos son significativamente diferentes con respecto al control siendo la dureza máxima la del tratamiento 5 (100+50) con 3.7 (kgf), y la formulación que muestra una menor dureza es el tratamiento 1 (100+10) con un valor de 3.4 (kgf).

Tal comportamiento puede ser debido a que, cuando las masas fueron adicionadas con las diferentes cantidades de harina de cáscara de papa se observa que los valores de dureza incrementan, posiblemente a una disminución del agua disponible, esto probablemente sea por las proteínas y fibras presentes en la cáscara que ejercen cierta competencia por el agua (Wang, Choi & Kerr

2004; Totosaus *et al.*, 2013). Cuando las masas son adicionadas con fibra provocan un efecto de dilución del gluten y se modifica la matriz gluten-almidón provocando cambios visco elásticos (Angioloni-Collar, 2009). Por otra parte los antioxidantes que se encuentran en la harina de cáscara de papa pueden formar reacciones covalentes entre las proteínas de la harina de trigo y los polifenoles presentes resultando una masa con mayor firmeza (Sun-Waterhouse *et al.*, 2011; Budryn *et al.*, 2013), este efecto concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación.

Cuadro 10. APT en masas de harina de trigo adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Dureza (kgf)	Adhesividad (-) (g . s)	Cohesividad	Elasticidad (cm)
Control	1.4±0.2	17.7± 4	0.57±0.03	0.48± 0.1
100+10	3.4±0.2 *	25.9±5.2	0.45±0.11	0.42± 0.08
100+20	3.5±1 *	31.4± 4.5 *	0.34±0.13 *	0.36± 0.09
100+30	3.6±0.1 *	34.9± 5.9 *	0.39±0.10	0.34± 0.12
100+40	3.6±0.2 *	36.6± 1.6 *	0.44±0.04	0.32± 0.07
100+50	3.7±0.1 *	38.1± 2.8 *	0.39±0.05	0.32± 0.1

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

Adhesividad

Al incorporar gradualmente la harina de cáscara de papa en la formulación de donas su adhesividad fue incrementando; todos las mezclas presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto al testigo. El valor de adhesión menor fue el tratamiento 1 (100+10) presentando una cifra de 25.9 g.s. (gramos por segundo) y el tratamiento con mayor adhesividad fue el 5 (100+40) con un valor de 38.1 g.s. (gramos por segundo) por tanto la adhesividad es proporcional a los porcentajes de adición de harina de papa.

Este comportamiento podría deberse a la adición de fibras que modifica las características viscoelásticas de la masa debido a que las fibras de celulosa consisten en varios polisacáridos que afectan las propiedades físicas de la harina de trigo lo cual provoca diferentes cambios en la matriz gluten-almidón que funciona como sostén de todos los componentes de la masa, la cual se va debilitando cuando hay adición de estas fibrillas afectando propiedades funcionales como retención de agua, viscosidad y finalmente la adhesividad (Armero y Collar, 1997; Collar *et al.*, 2007).

Cohesividad

En cuanto a cohesividad las formulaciones que presentaron un valor más cercano al testigo con 0.57, fueron los tratamientos 1, 3, 4 y 5 con valores de 0.45, 0.39, 0.44 y 0.39 respectivamente. No obstante, la mezcla 2 presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) con 0.34 el cual corresponde al 20% de adición de harina

de cáscara de papa; esta variabilidad en los datos de cohesividad probablemente sean debido al manejo de la masa pues los demás tratamientos no fueron similares. A medida que se aumentaba el porcentaje de harina de cáscara de papa en las diferentes mezclas la cohesividad disminuyó siendo el tratamiento con 10% de adición el que presentó una mayor cohesividad, sin embargo, no fue superior al testigo.

La cohesividad de una masa es un buen parámetro de predicción de la calidad del pan, cuando hay modificaciones en la formulación normal de las masas como la adición de fibras, resultan afectadas sus propiedades viscoelásticas como la cohesividad. Sin embargo, cuando las masas son más cohesivas muestran una estructura interna resistente, no obstante, cuando hay presencia de fibra las masas tienden a disminuir su cohesividad y elasticidad, probablemente a una hidratación deficiente y a la falta de formación de enlaces secundarios entre las proteínas del gluten que preservan la cohesión de la matriz gluten-almidón (Armero y Collar, 1997). Sullivan *et al.*, (2010) muestran un comportamiento similar cuando adicionan fibra soluble al pan, observando que la cohesividad muestra una disminución en comparación con su pan control.

Elasticidad

En los resultados de elasticidad según el análisis de varianza (ANOVA) muestra que no existen diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos en relación al control, observándose que dichos valores bajan de 0.48 cm en el control hasta

0.32 cm en la última formulación de 50 % de adición, siendo esta la masa menos elástica dentro de las 5 formulaciones analizadas.

Las proteínas del gluten están formadas por gliadinas y gluteninas las cuales confieren las propiedades viscoelásticas de la masa, básicamente la elasticidad de la masa está dada por las gluteninas que interaccionan vía puentes disulfuro para formar una red proteica extensa.

Angioloni & Collar (2009) mencionan que la fibra actúa como un interferente entre estas proteínas provocando menos enlaces y masas menos elásticas, esto podría corroborarse con los resultados obtenidos en esta investigación ya que cuanto más harina de cáscara era adicionada a las diferentes formulaciones la elasticidad disminuía; trabajos previos reportan datos parecidos al enriquecer las masas de pan con fibra (Collar *et al.*, 2007). Estudios similares reportan el mismo comportamiento en las masas cuando fueron adicionadas con fibras de algarrobo, fibra de guisantes e inulina (Wang *et al.*, 2002).

6.2.2 Extensibilidad de masas

En el Cuadro 11 se muestran los valores de distancia que alcanzan las masas de panificación durante el estiramiento durante la prueba de extensibilidad, mediante los valores de distancia expresada en (mm), de acuerdo a los datos es posible inferir que a menor fuerza requerida, la masa es mas extensible lo que se traduce en mayor distancia de estiramiento.

En base al análisis estadístico al cual se sometieron los datos de extensibilidad existen diferencias significativas ($p < 0.05$) de los 5 tratamientos en comparación al

testigo mostrando una tendencia de disminución, se encontró que el valor con mayor extensibilidad es la del tratamiento 1 con 32.3 mm y la mínima distancia alcanzada fue la del tratamiento 5 con 17.5 mm. De acuerdo con los resultados obtenidos todos los tratamientos son diferentes del testigo observándose que conforme aumentó la cantidad de harina de papa extranjera en las formulaciones, las distancias obtenidas disminuyeron, esto debido probablemente a que al adicionar la harina de papa pudiera existir un rompimiento de los enlaces disulfuro del gluten reflejándose en una disminución de la extensibilidad, no obstante dentro de los ingredientes utilizados para la elaboración de donas la fibra que contiene la harina de papa extranjera compite por agua haciendo las masas menos extensibles corroborándose con el valor de distancia obtenidos en la primera formulación de 32.3 (mm) en comparación con 17.5 (mm) de la ultima donde se adicionan 50 g de harina de papa.

Cuadro 11. Distancia para extensibilidad de masas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Extensibilidad (mm)
Control	37.5±5.38
100+10	32.3±3.44 *
100+20	33.4±3.69 *
100+30	22.3±2.50 *
100+40	21.2±2.15 *
100+50	17.5±1.20 *

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

Anderssen *et al.* (2004), mencionan que el rendimiento de un producto está relacionado con la extensibilidad que desarrollen las masas ya que una mayor extensibilidad es asociada a productos de buenas características texturales. Al adicionar cáscara de papa que es rica en fibra particularmente de pectina, celulosa y hemicelulosa a la harina de trigo provoca mayor absorción de agua con lo cual aumenta la competencia por el agua en la masa haciendo una redistribución del gluten. Ajila, Leelavathi & Prasada-Rao, (2008) observaron una disminución en la extensibilidad cuando adicionaban fibra (pectina) de harina de cáscara de mango, este comportamiento probablemente sea por las interacciones entre el agua y los grupos hidroxilo de estos polisacáridos a través de puentes de hidrogeno. Angioloni & Collar (2009) adicionaron fibras comerciales como la carboximetilcelulosa, inulina, goma de algarrobo y gluco-oligosacárido en la formulación de pan, y ambos resultados de estas investigaciones coinciden con lo que se obtuvo en esta investigación.

6.3 Parámetros físicos y químicos de las donas

6.3.1 Análisis de perfil de textura

En el Cuadro 12 se presentan los resultados obtenidos del Análisis de Perfil de Textura en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera y la Figura 11 muestra como fue realizado el análisis de perfil de textura en donas.



Figura 11. Análisis de perfil de textura en donas

Cuadro 12. APT en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Dureza (kfg)	Adhesividad (-) (g . s)	Cohesividad	Elasticidad (cm)
Control	1.4±0.1	19.3±5.2	0.12±0.11	0.59±0.08
100+10	1.6±0.2	15.8±4.2	0.25±0.01	0.59±0.01
100+20	2.2±0.05 *	22.6±2.0	0.20±0.03	0.52±0.02
100+30	2.4±0.1 *	25.4±6.7	0.51±0.02 *	0.46±0.08
100+40	2.6±0.3 *	32.5±12.4	0.50±0.03 *	0.47±0.11
100+50	3.0±0.1*	34.1±7.5 *	0.50±0.03 *	0.53±0.03

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

En cuanto al parámetro de dureza existen diferencias significativas (P<0.05) en la mayoría de los tratamientos con respecto del control, con valores que van desde los 2.2 kfg en la segunda mezcla hasta 3.0 kfg, en la formulación 5 donde la

adición fue de 50 g. En las pruebas reológicas la adhesividad puede ser interpretada como la capacidad que tiene una muestra de recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza aplicada es retirada, y en este trabajo muestra una tendencia de aumentó conforme se adiciona más harina de papa, encontrándose el valor mínimo en el tratamiento 1 con 15.8 mientras que el valor máximo lo tiene el tratamiento 5 con 34.1; siendo esta ultima la única mezcla con diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control; por otra parte la cohesividad puede ser explicada como la resistencia que presentó la dona en la segunda elongación, en relación al comportamiento de la primera elongación, es decir, que tanto es mantenida la estructura después del primer ciclo de deformación (primera elongación); en cuanto a los resultados obtenidos los dos primeros tratamientos (100+10 y 100+20) son estadísticamente iguales al control, sin embargo, los tratamientos 3, 4 y 5 son mas cohesivos con valores máximos de 0.50 a 0.51, para elasticidad muestran un decremento siendo todos los tratamientos estadísticamente iguales al control no habiendo encontrado diferencias significativas con respecto al testigo. Dichos parámetros reológicos están relacionados con diferentes aspectos entre los que destacan los procesos empleados para la elaboración de cualquier pan (amasado, fermentado y freído) ya que tienen repercusión en la textura final de los productos, los cuales dan paso a cambios conformacionales principalmente de las proteínas del trigo como resultado de la aplicación de energía mecánica (Sun-Waterhouse *et al.*, 2011; Sivam, Waterhouse, Perera & Waterhouse, 2013), Por otra parte, las formulaciones de donas presentadas en este trabajo están adicionadas con harina de cáscara de papa que además de fibra contiene compuestos antioxidantes,

estudios previos reportan que dichos compuestos juegan un papel importante sobre las características texturales del pan, debido a que se forman interacciones entre las proteínas y los fenoles por enlaces covalentes y puentes de hidrogeno que pueden afectar a la formación del gluten (Hang & Kong 2010; Hang & Kong 2011; Swieca *et al.*, 2014), no obstante, como se ha mencionado anteriormente la fibra tiene mucha influencia sobre la disponibilidad de agua afectando también las propiedades viscoelásticas de la dona afectando parámetros como la dureza ya que de una disminución de la formación del gluten resultan productos con mayor rigidez y mas cohesivos.

Güemes-Vera *et al.* (2009) reportan en pan tipo concha una disminución en dureza al adicionar 15% de proteína de suero de leche, sin embargo, Nindjin *et al.* 2011 observan un comportamiento contrario al desarrollar un pan al que agregan harina de ñame y yuca, lo cual concuerda con lo encontrado en esta investigación.

6.3.2 Imagenología de la miga

Para el análisis de imagen se utilizó un programa analizador de imágenes, el cual cuantificó el tamaño, uniformidad, compacidad y apariencia de la miga de las donas los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 14. Según los resultados del análisis estadístico en cuanto al área total de la dona (cm²), área total de células/cm², área total de células/mm² y número de células/cm², en base a las mediciones anteriores el tratamiento 1 (100+10), es estadísticamente igual al control mientras que los tratamientos 2, 3, 4 y 5 son estadísticamente diferentes al control; sin embargo, en cuanto al área celular/área total ningún tratamiento

presentó diferencias estadísticas en comparación con el control. La dona con una mayor área total (cm²) fue la adicionada con 10 g de harina de papa la cual presentó un valor de 1312.36 cm² mientras que se observa un decremento en el área a partir del segundo tratamiento hasta obtener valores mínimos de 844.60 cm²; así mismo los valores siguen el mismo patrón de disminución para área total de células en (cm² y mm²) y para número de células (cm²). Por lo tanto, el tratamiento con la mejor miga en cuanto a tamaño, área total y número de células con respecto al testigo es el adicionado con 10 g de harina de cáscara de papa extranjera seguido del tratamiento adicionado con 20 g con un área total de dona de 923.27 cm² y un número de células de 130.

Cuadro 13. Mediciones de la miga de las donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Área total de la dona (cm ²)	Área total de células/cm ²	Área total de células/mm ²	Número de células /cm ²	Área celular/área total
Control	1566.67±31.93	62.07±16.05	620.70±160.59	381.6±117.21	0.164±0.007
100+10	1312.36±213.55	48.72±3.39	487.23±33.95	291.6±26.68	0.167±0.011
100+20	923.27±177.19 *	21.75±6.09 *	217.51±60.90 *	130±35.93 *	0.167±0.001
100+30	844.60±54.86 *	20.77±1.68 *	207.79±16.88 *	125±5.19 *	0.166±0.007
100+40	916.47±118.49 *	19.66±0.75 *	196.68±7.56 *	115±1.73 *	0.170±0.004
100+50	903.85±24.73 *	19.43±7.51*	194.34±75.09 *	114±37.72 *	0.167±0.012

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

Los autores Upadhyay *et al.*, (2012), plantean que un buen producto de panificación depende del contenido de proteína, volumen de la hogaza, calidad del grano, y finalmente la textura de la miga. Durante el proceso de amasado hay inserción de burbujas de aire que actúan como puntos de nucleación para la difusión del CO₂ y el crecimiento de dichas celdillas en la fermentación (Campbell *et al.*, 1991).

Cuando se lleva a cabo la transición de masa a miga influyen diferentes factores como la temperatura, composición de la masa etc. pero la mayor influencia recae en un fenómeno de agregación del gluten produciendo el endurecimiento de la masa (Peighambardoust *et al.*, (2006); Rouillé *et al.*, (2010); no obstante en trabajos previos reportan que al adicionar fibra en las masas la miga se ve afectada ya que el fenómeno antes mencionado de agregación del gluten no se lleva a cabo totalmente mostrando una disminución de la miga formada. Scanlon & Zghal (2001); Wang *et al.*, (2013); mencionan que una buena miga se refleja en la homogeneidad que tenga la microestructura del pan.

En la Figura 12 se aprecian las fotografías representativas escaneadas de las donas donde puede valorarse visualmente un decremento en la formación de la microestructura observándose que los alveolos de aire disminuyen de tamaño. Un estudio reciente muestra datos similares cuando agregan proteína de *Lupinus* y *Jathropa* (Totosaus, López & Güemes 2013).

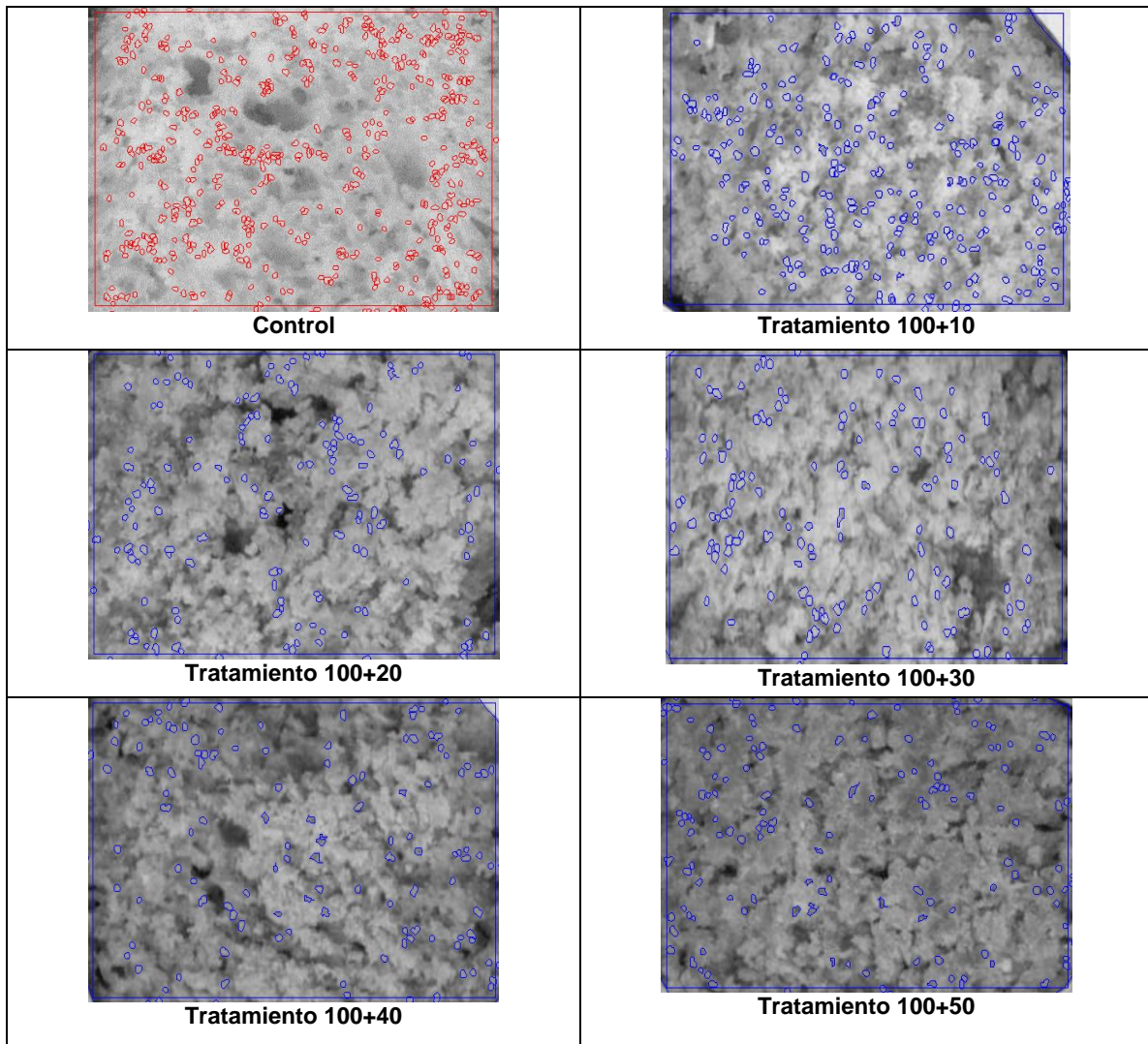


Figura 12. Estructura de la miga en los diferentes tratamientos

6.3.3 Volumen específico

En la Figura 13 se observa el volumen de las donas adicionadas con harina de cáscara de papa, apreciándose que hay un decremento a medida que aumenta la cantidad de harina de papa en las diferentes formulaciones, quedando el ultimo tratamiento con un volumen de 858 cm³ mientras que la dona con mayor volumen

obtenido fue la testigo con 884 cm³, obteniéndose una disminución de 26 cm³. El volumen es un parámetro visual muy importante; Hager & Arendt (2013) mencionan que esta característica influye fuertemente sobre el consumidor a la hora de elegir un pan por tal motivo es determinante en la evaluación de calidad del pan.

Güemes-Vera *et al.* (2004) mencionan que la disminución del volumen del pan está asociada principalmente a la desnaturalización de las proteínas del gluten principalmente y a entrecruzamientos entre las moléculas constituyentes del alimento dando lugar a distorsiones drásticas en la microestructura y finalmente en el volumen. En este trabajo fueron encontrados resultados parecidos a los de Acosta-Estrada *et al.* (2014), que reportan un decremento en panes adicionados con fibra obtenida del nejayote del maíz.

Trabajos previos donde se realizaron panes con diferentes mezclas de gluten comerciales reportan volúmenes que van desde 460 a 1530 cm³ (Borla *et al.*, 2004) deduciendo que el gluten favorece volúmenes mayores; por otra parte al incorporar proteína aislada de *Lupinus mutabilis* se observa un incremento del volumen del pan, alcanzando 550 cm³ aproximadamente (Güemes-Vera *et al.*, 2008) lo que sugiere que las donas tienen un volumen aceptable, encentrándose dentro de intervalos considerables, no obstante, la disminución encontrada en esta investigación posiblemente sea debido a que la harina de cáscara de papa además de fibra contiene pequeñas cantidades de proteína (esporamina o patatina) afectando la formación del gluten, el cual es el responsable de las características viscoelásticas a las masas (Hathorn *et al.*, 2008); e influyendo de manera negativa en el volumen del producto final.

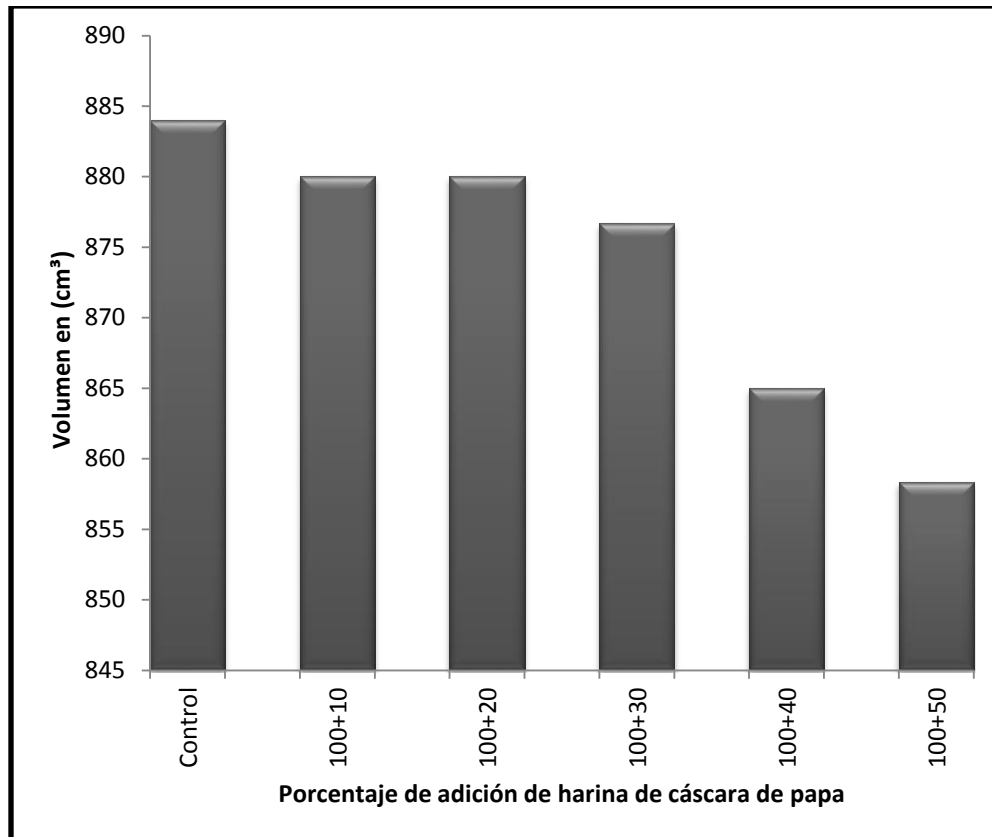


Figura 13. Volumen (cm³) de donas adicionadas con harina de cáscara de papa

6.3.4 Índice de absorción de grasa

Debido al aumento de las enfermedades causadas por la ingesta excesiva de alimentos altamente calóricos los consumidores han optado por buscar productos con bajo contenido de grasa, convirtiéndose en un reto para la industria alimentaria innovar en estas cuestiones (Varela & Fiszman, 2011).

Los productos fritos como las donas son alimentos con índice de absorción de grasa muy altos, debido al empleo del proceso de freído profundo considerándose un proceso de deshidratación, durante el cual ocurre simultáneamente una

transferencia de masa y calor, donde la humedad es evaporada y el producto absorbe aceite (Mérida, 2012). En el Cuadro 14 se puede observar que el control y los tratamientos 1 y 2 (100+10 y 100+20 respectivamente) ganaron pequeñas cantidades de peso, mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) los tratamientos 3, 4 y 5.

Cuadro 14. Índice de absorción de grasa en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Peso antes de freír (g)	Peso después de freír (g)
Control	29.24 ± 1.8	30.4 ± 2.1
100+10	28.08 ± 2.4	29.48 ± 2.2
100+20	26.46 ± 1.01*	28.08 ± 0.9
100+30	26.64 ± 0.2*	27.96 ± 0.6*
100+40	26.22 ± 0.4*	27.38 ± 0.4*
100+50	25.76 ± 0.8 *	27.01 ± 0.8*

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de ($P < 0.05$) con respecto al testigo

Cuando existe la posibilidad de liberar gran cantidad de agua debido a una masa muy bien hidratada es producido un recubrimiento poroso el cual va absorber mas aceite por la deshidratación durante el proceso de freído (Hubbard & Farkas, 1999; Purcaro, Moret & Conte, 2008). Sin embargo, cuando es adicionada la harina de cáscara de papa en las formulaciones realizadas, aumenta principalmente el contenido de fibra y antioxidantes los cuales compiten por el agua quedando una

masa con poca retención de agua que finalmente provoca un alimento con baja absorción de aceite.

Trabajos anteriores mencionan que las proteínas proporcionadas por la harina de trigo pueden influir para impedir la absorción de aceite de un producto frito ya que al ser solubilizadas actúan como una especie de recubrimiento (Martin & Davis, 1986). Por otra parte los antioxidantes influyen fuertemente en la auto-oxidación lipídica que se lleva a cabo durante el freído sobre la corteza de la dona, debido a los grupos hidroxilo del anillo fenólico que contribuye a la función antioxidante mediante la donación de electrones para eliminar los radicales libres en un sistema alimentario (Xu & Howard, 2012). Este efecto podría explicar la disminución de peso en las donas después de ser freídas conforme aumentan las cantidades adicionadas de harina de cáscara de papa extranjera.

6.3.5 Medición de color en la corteza de las donas

Los parámetros obtenidos por medio del colorímetro MicrOptix i-LAB, para las donas son apreciados en el Cuadro 15, observándose diferencias significativas ($P < 0.05$) en cuanto a color de los tratamientos con respecto al testigo. Para el parámetro de L^* : luminosidad o intensidad, ningún tratamiento es estadísticamente igual al control ya que los valores fueron disminuyendo. En las tonalidades que van rojo a verde representadas con la letra a^* , los tratamientos 1, 3 y 4, son estadísticamente diferentes al control mientras que para el parámetro b^* con tonalidades de amarillo a azul los 5 tratamientos presentan diferencias significativas con respecto al control.

Cuadro 15. Mediciones de los parámetros de color en adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	L*	a*	b*
Control	50.97±0.85	12.96±1.93	17.02±8.50
100+10	39.53±2.90*	18.49±4.38*	3.65±2.62*
100+20	31.35±2.62*	13.27±1.42	4.10±0.78*
100+30	32.35±4.01*	16.26±4.28*	9.96±1.37*
100+40	32.01±5.16*	19.48±9.45*	6.61±1.58*
100+50	33.44±1.29*	13.42±1.83	1.73±0.73*

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

El color de la corteza y la miga fue adoptando gradualmente un color oscuro de acuerdo con el nivel de adición de harina de papa cambiando significativamente la coloración hasta culminar en un color marrón intenso, lo cual se puede observar en la Figura 14.

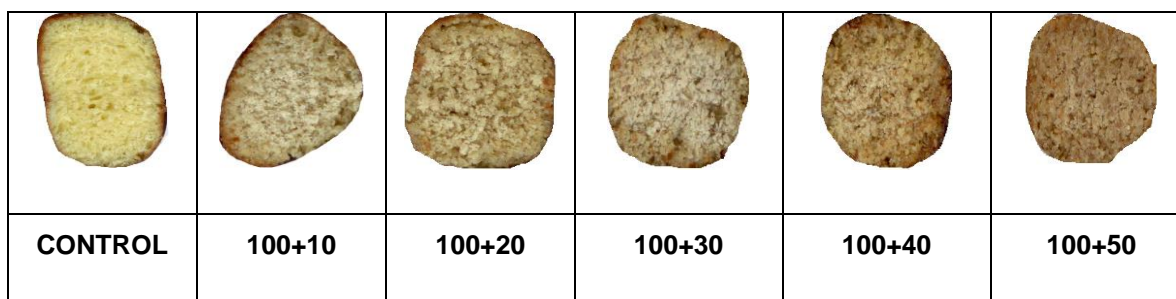


Figura 14. Color en las donas de los diferentes tratamientos

La coloración de los productos de panificación es una importante característica relacionada con la cocción, además de la textura y aroma determinante para la preferencia de los consumidores, dicha pigmentación sobre la corteza de la dona en general está dada por el proceso de caramelización y la reacción de Maillard que tienen lugar durante el freído, las cuales son altamente influenciadas por la unión entre aminoácidos-azúcares, temperatura y pH, resultando proteínas polimerizadas y pigmentos marrones (Purlis, 2010).

Sin embargo, Lee-Hoon *et al.* (2013) encontraron que dicho parámetro también puede ser debido al color de la harina nativa dependiendo el contenido de pigmentos naturales como antocianinas, carotenoides etc., Pérez (2012) observó que la luminosidad en panes con harina de semilla de guaya disminuía cuando agregaba más cantidad de harina atribuyendo esto a los pigmentos contenidos en dicha harina; por otra parte algunos autores mencionan que el oscurecimiento también puede ser a causa de la inclusión de fibras; al respecto Sabanis *et al.* (2009) informan un aumento en el pardeamiento de panes elaborados con harina de maíz y cebada provocado principalmente por el alto contenido de fibra.

Totosaus *et al.* (2013) muestran un comportamiento diferente al sustituir harina de trigo con *Lupinus* aumentando la luminosidad en la corteza del pan, debido a la influencia de los carotenoides contenidos en la semilla de *Lupinus*.

6.3.6 Actividad de agua (A_w)

Algunos autores definen la A_w como la relación de presión de vapor de agua en cierto producto a una temperatura definida (DeMan, 1999; Penfield & Campbell, 1990). En el Cuadro 16 se muestran los datos obtenidos de A_w que de acuerdo al análisis estadístico solo el tratamiento 1 es estadísticamente igual al control, los datos se encuentran en un intervalo de 0.69 hasta 0.61 para el último tratamiento, observándose un decremento en dichos valores conforme era adicionada más harina de cáscara de papa en las formulaciones.

Badui (2006) menciona que la A_w óptima para pan es de 0.94 ya que entre más se acerque a 1.0 mayor será su inestabilidad; dando paso a la proliferación de moho; sin embargo Markova & Wadso (1998) reportan que la A_w en pan debe estar por debajo de 0.85

Dong *et al.* (2012), observaron el mismo patrón de disminución en los valores de A_w al adicionar compuestos fenólicos en la elaboración de galletas, posiblemente por la competencia del agua entre todos los ingredientes de la dona principalmente las proteínas de harina de trigo; otro fenómeno que pudiera estar ocurriendo es que la fibra adicionada con la harina de papa tiene la capacidad de formar cristales estables que retienen agua y controlando la migración de humedad, reduciendo así la actividad de agua.

Trabajos previos por ejemplo en pan libre de gluten adicionado con harina de camote morado, reportan valores de A_w de 0.92 y 0.93 (Hathorn *et al.*, 2008); al

igual que en donas adicionadas con polifenoles donde los rangos van de 0.74 a 0.79 (Budryn *et al.*, 2013).

Cuadro 16. Actividad de agua en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Aw
Control	0.700 ± 0.08
100+10	0.690 ± 0.04
100+20	0.650 ± 0.04*
100+30	0.620 ± 0.04*
100+40	0.620 ± 0.04*
100+50	0.610 ± 0.04*

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

6.3.7 Determinación de pH en donas

En el Cuadro 17 se observan los datos obtenidos de pH y de acuerdo con el análisis estadístico hay diferencias significativas del control con respecto a los tratamientos, pudiendo observarse que el pH de las donas generalmente es ácido como el tratamiento 5 (100+50 g) que tiene el valor de pH de 5.18 y el más cercano a la neutralidad fue el adicionado con 10 g con un valor de 6.34.

Durante la fermentación de la masa ocurren una serie de reacciones bioquímicas que conducen a la formación de etanol, dióxido de carbono, y fermentaciones secundarias que son responsables del aroma y el sabor final del pan.

El pH tiene una repercusión directa sobre el curso de la fermentación, Calaveras (2004) menciona que el pH del pan debe ser <6 con un rango óptimo de 4.0 a 5.8; sin embargo, Pérez-Fierros (2003) sugiere que para tener mayor desarrollo fermentativo y máxima producción de CO₂ en la pieza de pan ya formada, los valores de pH deberán estar entre 5.4 y 5.8, por tal motivo se asocian los valores de pH por debajo de 5.8 con un producto de panificación pobre en volumen ya que existe hidrólisis ácida del almidón.

Cuadro 17. pH de las adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	pH
Control	5.88±0.31
100+10	6.34±0.21*
100+20	5.70±0.20*
100+30	5.44±0.21*
100+40	5.32±0.20*
100+50	5.18±0.21*

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

6.3.8 Índice de Valor de Peróxido (I.V.P)

Las donas son generalmente productos de panificación en el que se emplea el proceso de freído para su cocción, en dicho mecanismo es empleado aceite comestible el cual consta de una fracción lipídica que es altamente sensible principalmente cambios químicos por acción de la luz, temperaturas elevadas o trazas de metales sufriendo una peroxidación en presencia de oxígeno molecular que da como resultado radicales libres y productos secundarios, (Calligaris *et al.*, 2007).

Los radicales libres son reconocidos como una de las principales causas del deterioro en los alimentos causando rancidez y provocando enfermedades para los consumidores (Purcaro *et al.*, 2008); para evitar estos problemas las normas mexicanas (NMX-K-402-1973 y NMX-F-101-SCFI-2012), establecen que el nivel máximo de peróxidos en los alimentos es de 20 meq O₂/kg, por lo que es fundamental no rebasar estos límites permisibles.

En el Cuadro 18 son descritos los resultados obtenidos para el índice de valor de peróxido mostrando que existen diferencias significativas ($P < 0.05$), de los 5 tratamientos con respecto al control; los valores se reducen al adicionar más cantidad de harina de papa en las formulaciones de las donas, obteniendo valores mínimos en el tratamiento 5 de 3.35 meq O₂/kg, sin embargo, la dona sin ninguna adición de harina de papa (dona control) obtuvo el I.V.P. más elevado con 6.4 meq O₂/kg, todas las formulaciones se encuentran dentro de los intervalos permitidos por la norma mexicana, no obstante, se observa un ligero incremento en la dona

con formulación tradicional, probablemente porque no hay presencia de antioxidantes que actúen sobre los radicales formados durante el proceso de freído de la dona.

El mecanismo de acción de los antioxidantes radica en interferir la peroxidación lipídica reaccionando con los radicales que se forman, esto concuerda con investigaciones previas donde es observado que los niveles de peróxido formados en los aceites utilizados para la elaboración de rosquillas disminuían paulatinamente al adicionar antioxidantes naturales (Budryn *et al.*, 2013)

Cuadro 18. Índice de valor de peróxido de donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Índice de valor de Peróxido (meq O ₂ /kg)
Control	6.40±0.00
100+10	4.95±0.21 *
100+20	4.75±0.07 *
100+30	4.15±0.21 *
100+40	3.5±0.42 *
100+50	3.35±0.21 *

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

6.3.9 Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante

6.3.9.1 Contenido de fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu

En el Cuadro 19 se muestran los resultados obtenidos de 5 formulaciones de donas adicionadas con harina de cáscara de papa. Inicialmente se midió el contenido de compuestos fenólicos de la harina de cáscara de papa (*Oxalis tuberosa*) encontrando una concentración de 176.25 mg EAG/100 g de muestra; estos resultados son similares a los reportados por Ah-Hen *et al.* (2012), quienes cuantificaron el contenido de fenoles totales en papas nativas (*Solanum tuberosa*) con y sin piel. En los ejemplares sin piel los valores reportados van de 191 hasta 1864 mg EAG/100 g de muestra mientras que en las papas con piel estos valores varían entre 345 y 2852 mg EAG/100 g de muestra.

Estos resultados, como en los de la papa *Oxalis tuberosa* investigada en este trabajo indicaron una mayor concentración de fenoles totales en la epidermis de las papas. Rytel *et al.* (2014) estudiaron papas blancas comunes y papas coloreadas nativas desprovistas de la epidermis, y el contenido de compuestos fenólicos de las papas pigmentadas fue tres veces mayor que el de las blancas. Chirinos *et al.* (2009) reportaron un contenido de fenoles totales para un genotipo amarillo de la variedad de *Oxalis tuberosa* de 161.8 mg EAG/100 g de muestra, sin embargo, Kita *et al.* (2014) hallaron que las papas de color rojo y púrpura eran de dos a tres veces mayor en contenido de fenoles totales que las amarillas, siendo la

variedad de papa *Vitelotte* la más alta con un contenido de 844.92 mg EAG/100 g de muestra.

Con respecto a la inclusión de harina de cáscara de papa roja en las formulaciones de donas con harina de trigo, no existen trabajos anteriores, los resultados se muestran en el Cuadro 19. Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos y el control observándose que el contenido de fenoles fue incrementando a medida que aumentaba el porcentaje de adición de harina de cáscara de papa, donde fueron obtenidos valores máximos de 102.73 mg EAG/100 g en tratamiento de 100+50. La harina de trigo contiene aproximadamente 562 mg EAG/100 g de muestra (Ragae *et al.*, 2006). Podría esperarse un efecto sinérgico o potenciado al mezclar los compuestos provenientes de la harina de trigo y los de la papa, sin embargo, en la mayoría de estudios sobre los efectos producidos por el tratamiento térmico los resultados con respecto al contenido fenólico total son contradictorios. Algunos autores reportan un aumento en el contenido de compuestos fenólicos, mientras que otros informan una disminución (Zilic *et al.*, 2012).

Los ácidos fenólicos se encuentran presentes en el grano de trigo, siendo el ácido felurico el que se encuentra en mayor cantidad; estos compuestos se encuentran libres o ligados a oligosacáridos y polisacáridos en el grano, pero estos se modifican durante el procesamiento, sobre todo en cuanto a su biodisponibilidad. Algunos trabajos reportan el efecto del horneado en los compuestos antioxidantes presentes en el trigo, disminuyendo hasta en un 36% (Abdel-Aal *et al.*, 2013).

En el presente estudio en el que las muestras fueron sometidas a un proceso de freído provocó una degradación y transformación de los compuestos fenólicos tanto de la harina de trigo como de la harina de cáscara de papa (principalmente de antocianinas que proporcionan el color purpura a la papa) ya que estos compuestos son termosensibles (Kita *et al.*, 2013).

Cuadro 19. Contenido de fenoles totales para donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera

Tratamiento	mg EAG/100 g de muestra
Harina de Cáscara	176.25±0 *
Control	73.54±0.21
100+10	99.01±2.11 *
100+20	102.11±4.26 *
100+30	98.49±1.72 *
100+40	100.25±1.44 *
100+50	102.73±2.48 *

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

6.3.9.2 Determinación de la actividad antioxidante por la técnica de DPPH

Al igual que en la cuantificación de fenoles totales para actividad antioxidante se determinó inicialmente en la harina de cáscara de papa la cual obtuvo un 80.4% de inhibición del radical DPPH, sin embargo, en los tratamientos se encontraron

intervalos que van desde el 46 hasta el 76 %, encontrando diferencias significativas entre ellos y el testigo. En base a los datos obtenidos que se aprecian en el Cuadro 20 se puede observar que el tratamiento con mejores resultados de actividad antioxidante es el adicionado con 50 g de harina de cáscara de papa ya que muestra el valor más alto de inhibición del radical DPPH con respecto al control.

Cuadro 20. Porcentaje de neutralización del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) en donas adicionadas con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	% de neutralización del radical DPPH
Harina de cáscara	80.4±0.18
Control	46.2 ± 13.43 *
100+10 g	66.7 ± 5.45 *
100+20 g	68.7 ± 4.17 *
100+30 g	69.4 ± 4.41 *
100+40 g	71.6 ± 6.40 *
100+50 g	76.1 ± 4.62 *

± Desviación estándar

* Indica diferencias significativas de (P<0.05) con respecto al testigo

Para la elaboración de las donas fue empleado un tratamiento térmico el cual es la principal causa del agotamiento de los antioxidantes sin embargo propicia la formación de nuevos compuestos, tales como melanoidinas, generadas durante la

reacción de Maillard, (Michalska *et al.*, 2008; Serpen *et al.*, 2012; Kita *et al.*, 2013), aunado a esto los compuestos fenólicos que naturalmente están presentes en la harina de papa contribuyen a la actividad antioxidante del alimento; por otra parte ocurren modificaciones por las interacciones con grasas y otros compuestos antioxidantes como carotenoides, y flavonoides, que finalmente dan origen a una compleja mezcla aun no caracterizada, cuyo comportamiento no puede ser predecible.

Badui (2006) menciona que los principales antioxidantes naturales son los derivados fenólicos, como las isoflavonas, ácido cafeico, clorogénico, ferulico y cumárico; siendo los ácidos cafeico, vanílico y cinámico los principales responsables de la actividad antioxidante del género de papa *Oxalis tuberosa* (Chirinos *et al.*, 2009).

En base a lo anterior, se midió la actividad antioxidante en las donas después de emplear un proceso de freído para su cocción y los datos revelaron que aun presentaban considerable actividad antioxidante, esto puede ser debido a la presencia de los fenoles antes mencionados que contienen grupos hidroxilo en su anillo fenólico contribuyendo a la función antioxidante mediante la donación de electrones para eliminar los radicales libres o compuestos de naturaleza hidrófoba, que no han sido estudiados (Xu & Howard, 2012).

De acuerdo con Budryn *et al.* (2012), al adicionar antioxidantes de té verde y café en la elaboración de donas los resultados fueron favorables al aumentar gradualmente la actividad antioxidante de las donas. Así mismo los resultados

obtenidos en esta investigación concuerdan con los reportados por Chotimarkorn & Silalai (2008), quienes agregaron antioxidantes contenidos en la harina de salvado de arroz para evitar la oxidación de productos fritos durante el almacenamiento.

6.3.10 Identificación de acrilamida en donas

Desde el 2002 cuando se detecto la presencia de acrilamida en alimentos hasta la fecha las investigaciones se han perfilado en encontrar métodos que analicen cuantitativamente el compuesto de acrilamida; se creía que cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas y la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas eran los más sensibles en la detección de acrilamida (Rosén & Hellenas, 2002). Sin embargo, el método de electroespray de ionización acoplado a masas ha mostrado tener alta precisión y límites de detección por debajo de los demás métodos usados hasta el momento (Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2007).

Para la determinación de esta prueba primeramente se obtuvo un patrón de peso molecular de la acrilamida mediante la formación de aductos con dos minerales Sodio *Na* y Potasio *K* para que posteriormente fueran monitoreados en las diferentes formulaciones de donas (Anexos 1, 2, 3 y 4) siendo 94.0091 y 109.0139 respectivamente los pesos encontrados, y los que posteriormente fueron valorados en la dona control, y las adicionadas con 10 y 20% de harina de papa.

En los anexos localizados al final de este trabajo de investigación es posible observar los diferentes cromatogramas de las tres muestras analizadas en donde el peso es encerrado en rectángulo y óvalo (rectángulo azul para aducto con *Na* y óvalo rojo para el aducto con *K*) para una mejor apreciación; comenzando por el segundo cromatograma del análisis de la dona control el peso de la acrilamida tiene bastante intensidad probablemente a una mayor formación de acrilamida, sin embargo, no es posible establecer una cuantificación exacta de acrilamida.

En el Anexo 3, se ilustra el cromatograma de la dona adicionada con 10 g de harina de cáscara de papa, en el que es posible notar una ligera disminución de la línea, la cual está marcada con una flecha indicando el peso molecular de los aductos, para comprobar la presencia de acrilamida. Por otra parte en el ultimo anexo se encuentra la formulación de la dona con 20 g de adición de harina de papa, en donde disminuye aun más la línea que indica la intensidad de señal por la presencia de acrilamida en esta dona; lo que posiblemente indica una inminente interferencia en la formación de acrilamida por acción de los antioxidantes de la harina de cáscara de papa.

Estos resultados concuerdan con los reportado por Budryn *et al.* (2013) que observaron el mismo comportamiento al adicionar antioxidantes de origen natural (extractos de cereza de café), al igual que, Morales *et. al.* (2014) quienes observaron una importante disminución de la acrilamida formada en papas fritas con porcentajes que van del 17 al 62%, empleando la adición de extractos de orégano, tomillo, canela, buganvillas y te verde, así mismo, Kalita, Holm & Jayanty (2013) concuerdan con el efecto positivo de los antioxidantes en la inhibición de la

formación de acrilamida, al evaluar chips de papas fritas siendo las de color púrpura y rojo las que contenían más polifenoles y menos acrilamida, como lo reportado en el presente estudio. Sin embargo, Bassama *et. al.* (2010) encontraron resultados contradictorios al observar el efecto puro de los compuestos fenólicos en la mitigación de la acrilamida.

6.3.11 Evaluación sensorial efectiva

Fue realizada una prueba de evaluación sensorial solo a la dona testigo y las donas de las formulaciones 1 (100+10) y 2 (100+20) debido a que los tratamientos 3, 4 y 5 en general, mostraron diferencias significativas con respecto al control en cuanto a los parámetros reológicos analizados; los cuales finalmente tendrían desventajas en las características organolépticas en comparación a la dona 1 y 2 que se asemeja a la testigo.

En la Figura 15 se muestran los porcentajes obtenidos en cuanto a la evaluación sensorial por jueces no entrenados de un total de 32, en donde la dona del tratamiento 2 (100+20) fue la más preferida por dichos consumidores con un porcentaje de aceptabilidad de 46.8% mientras que la adicionada con 10% solo obtuvo el 34.3% un 18.7% del total de las evaluaciones fue anulada ya que las personas marcaron más de una opción predilecta.

En general, los evaluadores anotaron que la dona con más cantidad de harina de papa tenía un sabor más dulce en comparación con la otra por tal motivo tuvo más aceptabilidad, sin embargo, los atributos como color y textura superficial,

desempeñan un papel muy importante en la evaluación sensorial las donas 100+20 tenía un color más opaco y los jueces lo notaron haciendo esa observación.

Estudios previos revelan que la aceptabilidad de los consumidores por un producto nuevo depende en gran medida de las técnicas culinarias que hayan sido empleadas, Melito & Farkas (2013) concluyeron que el freído sigue siendo el proceso más degustado por los consumidores, al evaluar sensorialmente donas libres de gluten irradiadas con infrarrojo ya que simula la cocción del freído contra donas fritas tradicionalmente; y los resultados mostraron que las personas prefieren sabores conocidos, seleccionando las donas fritas tradicionalmente.

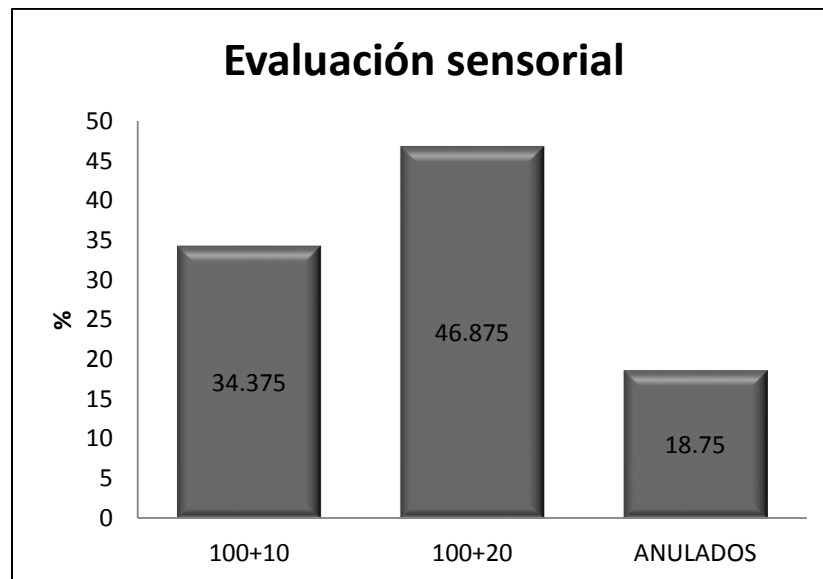


Figura 15. Grafica de resultados para la prueba de Evaluación Sensorial

6.3.12 Composición químico proximal de las donas

Finalmente fue realizado un análisis químico proximal solo a la dona testigo y a la del tratamiento 2 (100+20) que resultó aceptada en la prueba de evaluación sensorial por los jueces no entrenados, los resultados se presentan en el Cuadro 21 donde se puede apreciar que el contenido de proteína para el tratamiento 100+20 fue de 13.65 superando al testigo con 1.14 g/100 g no obstante, para el contenido de grasa hubo un ligero decremento de 1.01 g/100 g para el tratamiento 100+20 en comparación al testigo que obtuvo 22.92 g/100 g, la cantidad de fibra se mantuvo constante en ambos tratamientos; en cuanto a los hidratos de carbono prácticamente contienen los mismo ambas donas con una diferencia mínima de 0.1 g/100 g.

Cuadro 21. Análisis químico proximal en dona de harina de trigo y dona adicionada con harina de cáscara de papa extranjera (*O. tuberosa*)

Tratamiento	Energía (Kcal)	Proteína (g/100 g)	Grasa (g/100 g)	Fibra total (g/100 g)	Hidratos de carbono (g/100 g)
Control	498.76	12.51	22.92	0.45	60.1
100+20	494.63	13.65	21.91	0.45	60.2

Para el contenido de proteína Güemes (1998), reporta contenidos de proteína 10.7% el cual está por debajo de los mostrados es la presente investigación, cabe resaltar que el alto contenido proteico esta dado por los sólidos de la leche y el huevo principalmente ya que son alimentos ricos en proteína, no obstante la harina de cáscara de papa pudiera estar aportando cierta cantidad de este macronutriente. Mérida (2012) reporta datos similares en donas utilizando almidón de haba donde la cantidad de grasa también disminuye ligeramente, sin embargo, para proteína reporta datos de 4.02 y 4.07 g/100 g; para grasa tiene valores mucho más altos que los encontrados en este trabajo con datos que van desde 12.31 hasta 20.87 g/100 g en su testigo los cuales están por debajo de los reportados aquí, lo cual se pudiera atribuir a que Mérida reemplazo la materia lipidia por maltodextrina y almidón modificado.

VII. CONCLUSIONES

- Se formuló una dona adicionando harina de cáscara de papa de *Oxalis tuberosa*, es un ingrediente poco conocido y se puede considerar como un gran potencial antioxidante.
- Dentro de las 5 formulaciones que se plantearon, en comparación con un testigo, los tratamientos 1 y 2 con 10 y 20% de adición de harina de cáscara de papa asemejan las mismas propiedades reológicas que las del testigo en parámetros como adhesividad, cohesividad y elasticidad, aumentando la dureza ligeramente solo en el tratamiento 2, sin embargo para extensibilidad hubo un ligero decremento.
- Se obtuvieron donas con un valor nutritivo considerable ya que numéricamente se disminuyó el contenido de grasa y aumentó el de proteína con respecto a la dona control, además de tener buen contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante
- Se lograron donas adicionadas con polifenoles, no obstante modificaron las características organolépticas y reológicas en comparación de la formulación control, causando un ligero disgusto a los consumidores.

VIII. RECOMENDACIONES

- Adicionar cierto hidocoloide que pudiera mejorar las características reológicas de la dona ya que esta en términos generales es un poco dura logrando así que la ultima formulación con el mayor porcentaje de actividad antioxidante y fenoles lograra ser aceptada sensorialmente por los consumidores
- Otra recomendación es la vida de anaquel a diferentes periodos de almacenamiento y determinar si la misma actividad antioxidante y contenido de fenoles no sufren disminuciones.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. A.A.C.C. 1995. American Association of Cereal Chemist. Approved methods of the AACC (8th ed.) St. Paul, MN; The Association.
2. Abdel-Aal. & Rabalski I. (2013). Effect of baking on free and bound phenolic acids in wholegrain bakery products. *Journal of Cereal Science*. 57, 312-318.
3. A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis (16th ed). Association of official Analytical Chemist. Washington D.C. USA.
4. Acosta-Estrada, B., Lazo-Vélez, M., Nava-Valdez, Y., Gutiérrez-Uribe, J. & Serna-Saldívar, S. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*. 60, 264-269.
5. Ah-Hen, K., Fuenzalida, C., Hess, S., Contreras, A., Vega-Gálvez, A. & Lemus-Mondaca, R. (2012). Antioxidant capacity and total phenolic compounds of twelve selected potato landrace clones grown in southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72, 1, 1-9.
6. Ahrne, L., Andersson, C., Floberg, P., Rose´n, J. & Lingnert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking. *LWT*. 40, 1708-1715.
7. Ajila C., Leelavathi, K. & Prasada-Rao, U. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*. 48, 319-326.
8. Allan, S. (2002). Acrylamide angst: Another annoying distraction about food safety. *Agrochemical and Environmental News*. 198, 2-13.

9. Anderssen, R., Bekes, F., Grass, P., Nikolov, A. & Wood (2004). Wheat-flour dough extensibility as a discriminator for wheat varieties. *Journal of Cereal Science*. 39, 195-203.
10. Angioloni, A. & Collar, C. (2009). Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics. *Journal of Food Engineering*. 91, 4, 526–532.
11. Anzaldúa, M. A. (1994), La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza España: Acribia.
12. Armero, E. & Collar, C. (1997). Texture properties of formulated wheat doughs. *Springer-Verlag*. 204, 136-145.
13. Badui D. S (2006). Química de los alimentos. 4^{ta} Edición. Mexico. PERSON Addison Wesley.
14. Borla, O., Motta, E., Saiz, A., & Fritz, R. (2004). Quality parameters and baking performance of commercial gluten flours. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 37, 723-729.
15. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. & Berset C. (1995). Use of free radical method evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 22, 25-30.
16. Brown, J. (1988). Donas batido. Panadero latinoamericano. 3, 2, 45-49.
17. Budryn, G., Żyżelewicz, D., Nebesny, E., Oracz, J. & Krysiak, W. (2012). Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products. *Food Research International*. 50, 149-160.
18. Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R. & Campos, D. (2009). HPLC-DAD Characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*. 113, 1243-1251.

19. Chotimarkorn, C. & Silalai, N. (2008). Oxidative stability of fried dough from rice flour containing rice bran powder during storage. *LWT - Food Science and Technology*. 41, 4. 561-568.
20. Claus, A., Weisz, G., Kammerer, D., Carle R. & Schieber, A. (2005). A method for the determination of acrylamide in bakery products using ion trap LC-ESI-MS/MS. *Mol. Nutr. Food Res.* 49, 918-925.
21. Calligaris, S., Manzocco, L., Kravina, G. & Nicoli, M.C. (2007). Shelf-life Modeling of Bakery Products by Using Oxidation Indices. *J. Agric. Food Chem.* 55, 5, 2004-2009.
22. Campbell, G., Rielly, C., Fryer, P. & Sadd, P. (1991). The measurement of bubble size distributions in opaque food fluid transactions I chem. E, part: *Food and Bioproducts Processing*. 69, 67-76.
23. Collar, C., Santos, E. & Rosell, C. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 78, 820–826.
24. DeMan, J. M. (1999). Principles of food chemistry (3rd ed.). Gaithersburg, MD: Aspen Publishers pp. 263-309.
25. Dhingra, S. & Jood, S. (2001). Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. *Food chemistry*. 77, 479-488.
26. Díaz, P., Dalla, M., Vázquez, D. & Castro, M. (2006). Elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *Agricultura Técnica*. 66, 4, 360-369.
27. Dong, L., Chen, Y., Zhang, Y., Bu, B., Jin, C., Wu, X. & Zhang, Y. (2012). Study on Mitigation of Acrylamide Formation in Cookies by 5 Antioxidants. *Journal of Food Science*. 77, 11, 1144-1148.

28. El-Ziney, M., Al-Turki, A., & Tawfik, M., (2009). Acrylamide status in selected traditional Saudi foods and infant milk and foods with estimations of daily exposure. *American Journal of Food Technology*. 4, 5, 177-191.
29. Énfasis Alimentación, (2009). Tendencia de consumo e innovación en panificados, (2009). Obtenida el 13 de septiembre de 2013, de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/14982-tendencias-consumo-e-innovacion-panificados>.
30. Enríquez-Fernández (2010). Acrilamida en Alimentos: sus causas y consecuencias. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. 4, 2, 1-13.
31. Fedeli, E. (1998). Physical-Chemical aspects of the frying process. *Grasas y Aceites*. 49, 3-4, 261-264.
32. Güemes-Vera, N. (1998). Efecto de la adición de sustitutos de grasa a base de carbohidratos sobre las características de donas fermentadas y no fermentadas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos. México, D.F.
33. Güemes-Vera, N., Arciniega-Ruiz, O. & Dávila-Ortiz, (2004). Structural analysis of the *Lupinus mutabilis* seed, its flour, concentrate, and isolate as well as their behavior when mixed with wheat flour. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37, 283-290.
34. Güemes-Vera, N., Peña R., Jiménez, C., Dávila, G. & Calderón, G. (2008). Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivatives, and effect of these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88, 1135-1143.
35. Güemes-Vera, N., Totosaus, A., Hernández, J., Soto, S. y Bolaños, E. (2009) Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo "concha" fortificados con proteínas de suero de leche. *Ciencia e Tecnología de los alimentos*. 29, 1, 70-75.

36. Hager, A., Wolter, A., Czerny, M., Bez, J., Zannini, E. & Arendt, E. K. (2012). Investigation of product quality, sensory profile and ultra-structure of breads made from a range of commercial gluten free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology*, 235, 2, 333-344.
37. Han, H. & Koh, B (2010). Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids. *J Sci Food Agric*. 91, 604–608.
38. Han, H. & Koh, B (2011). Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *J Sci Food Agric*. 91, 2495–2499.
39. Hathorn, C., Biswas, M., Gichuhi, A. & Bovell, B. (2008). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT*. 41, 803-815.
40. Hernández, G. y Serra, M. (2010). Libro blanco del pan. Editorial Panamericana. (1^{ra}. Ed.) España. 63-70.
41. Hoseney, R. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia. (1^{ra}. Ed.) España. 67-79.
42. Hubbard, L. & Farkas, B. (1999). *Journal Food Process Eng*. 22, 201-214.
43. Jaya, E. (2010). Evaluación del potencial nutritivo y nutracéutico de donas elaboradas con una mezcla de harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y harina de trigo (*Triticum vulgare*). Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba Ecuador.
44. Kent L., N. (1987). Tecnología de los cereales. Editorial Acribia. (1^{ra}. Ed.) España. 49-86.

45. Kim, J., Choi, I., Shin, W. & Kim, Y. (2014). Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT - Food Science and Technology*. XXX, 1-8.
46. Kita, A., Bakowska, A., Hamouz, K., Kulakowska, K. & Lisinska, G. (2013). The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 32 169-175.
47. Kita, A., Bakowska, A., Lisinska, G., Hamouz, K. & Kulakowska, K. (2014). Antioxidant activity and quality of red and purple flesh potato chips. *LWT- Food Science and Technology*. 1-7.
48. Knowles R. (2009). Acrylamide in food: piling up the evidence. *Food Engineering & Ingredients Lab International*. Special issue, 3-51.
49. Lee-Hoon, Ho., Noor Aziah, A. & Baharin, A. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. Awak) pseudo-stem flour. *Food Chemistry*. 139, 532-539.
50. Lineback, D., Coughlin, J. & Stadler, R. (2012). Acrylamide in Foods: A Review of the Science and Future Considerations. *Annual Review of Food Science and Technology*. 3, 15-35.
51. Markova, N. & Wadso, L. (1998). A microcalorimetric method of studying mould activity. *International Biodeterioration Biodegradation*, 42, 25-28.
52. Martin, M. & Davis, A. (1986). Effect of soy flour on fat absorption by cake donuts. *Cereal Chemistry*. 63, 3, 252-255.
53. Masson, L., Muñoz, J., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. Robert, P. (2007). Acrylamida en patatas fritas: Revisión actualizada. *Grasas y aceites*. 58, 2, 185-193.

54. Medeiros, R., Mestdagh, F. & De-Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products—Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food chemistry*. 133, 1138-1154.
55. Melito, H. & Farkas, B. (2013). Effect of infrared finishing process parameters on physical, mechanical, and sensory properties of par-fried, infrared-finished gluten-free donuts. *Journal of Food Engineering*. 117, 399-407.
56. Mérida, L.E. (2012). Efecto de la adición de almidón hidrolizado de Haba (*Vicia faba*) en masas para elaborar donas fermentadas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo, Hgo.
57. Michalska, A., Amigo-Benavent, A., Zielinski, H. & Dolores del Castillo, M. (2008). Effect of bread making on formation of Maillard reaction products contributing to the overall antioxidant activity of rye bread. *Journal of Cereal Science*. 48, 123-132.
58. Morales, G., Jimenez, M., Garcia, O., Mendoza, M., & Beristain, C. (2014). Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 58, 2, 587–593.
59. Mottram, D., Wedzicha, B. & Dodson A. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*. 419, 448-449.
60. Nindjin, C., Amani, G. & Sindic, M. (2011). Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from yam and cassava native starches and bread quality. *Carbohydrate Polymers*. 86, 1637-1645.
61. Norma Oficial Mexicana (NMX-K-402-1973). Determinación del índice de peróxido en aceites.
62. Norma Oficial Mexicana (NMX-F-101-SCFI-2012). Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – determinación de ácidos grasos libres- método de prueba.

63. Ortega, C. (1998). Sistemas alimentarios de raíces y tubérculos. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Monagas. 24.
64. Özge, C. & Gökmen, V. (2009). Investigation of acrylamide formation on bakery products using a crust-like model. *Mol. Nutr. Food Res.* 53, 1521-1525.
65. Peighambardoust, S., Van der Goot, A., Van, V., Hamer, R. & Boom, R. (2006). Microstructure formation and rheological behaviour of dough under simple shear flow. *Journal of Cereal Science.* 43, 183-197.
66. Penfield, M. & Campbell, A. (1990). Experimental food science. (3rd ed). San Diego, CA: Academic Press. 362-421.
67. Pérez E. (2009). OXALIDACEAE. Fascículo 64. Instituto de Ciencia y tecnología A.C. México. 10-35.
68. Pérez-Fierros (2003). La química en el arte de cocinar “química descriptiva culinaria”. 2^{da}. Edición. Editorial Trillas. México D.F. 45-50.
69. Pérez K. A. (2012). Evaluación del efecto del aislado proteico de semillas de guayaba (*Psidium guajava*) sobre las propiedades reológicas en pan de caja. Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 10-20.
70. Purcaro, G., Moret, S. & Conte, L (2008). HS–SPME–GC applied to rancidity assessment in bakery foods. *Eur Food Res Technol.* 227, 1-6.
71. Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products–A review. *Journal of Food Engineering.* 99, 239-249.

72. Ragae, S., Abdel-Aal, E. & Noaman, M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food chemistry*. 98, 32-38.
73. Rosén, J. & Hellenas, E. (2002). *Analyst*. 127-880.
74. Rossell J. B. (1998). Industrial frying process. *Grasas y Aceites*. 49, 282-295.
75. Rouillé, J., Chiron, H., Colonna, P., Della-Valle, G. & Lourdin, D. (2010). Dough/crumb transition during French bread baking. *Journal of Cereal Science*. 52, 161-169.
76. Rytel, E., Tajner, C., Kita, A., Aniołowska, M., Kucharska, A., Sokol, A. & Hamouz, K. (2014). Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chemistry*. 164, 224-229.
77. Sabanis, D., Lebesi, D. & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology* 42, 1380–1389.
78. Scanlon, M. & Zghal, M. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*. 34, 841-864.
79. Serna, S.S. (2013). Química, Almacenamiento e Industrialización de los cereales. Editorial Agt editor. (2^{da}. Ed.) México D.F.
80. Serpen, A., Gokmen, V. & Mogol B. (2012). Effects of different grain mixtures on Maillard reaction products and total antioxidant capacities of breads. *Journal of Food Composition and Analysis*. 26, 160-168.
81. Shih, F. (2001). Development of Low Oil-Uptake Donuts. *Journal of food Science*. 66, 141-144.

82. Shiyi, O., Jianjun, S., Caihuan, H., Guangwen, Z., Jiuwei, T., Yue, J. & Baoru, Y. (2010). Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. *Journal of Hazardous Materials*. 182, 863–868
83. Singleton, V. Rossi, J. (1995). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
84. Sivam, S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C., & Waterhouse, G. (2013). Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*. 50, 2, March 2013, Pages 574–58.
85. Stadler, R., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P., Robert, M., y Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. 419, 449-450.
86. Steve, (1987). Nutritional Evaluation of Three Underexploited Andean Tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae), and *Tropaeolum tuberosum*. *Economic Botany*. 41, 4, 503-511.
87. Sullivan, P., O’Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E. & Gallagher E. (2010). Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley Xour. *Eur Food Res Technol*. 231, 441–453
88. Sun-Waterhouse, D., Sivam, A., Cooney, J., Zhou, J., Perera, C., Waterhouse, G. (2011). Effects of added fruit polyphenols and pectin on the properties of finished breads revealed by HPLC/LC-MS and Size-Exclusion HPLC. *Food Research International*. 44, 3047-3056.
89. Swieca, M., Seczyk, L., Gawlik-Dziki, U., & Dziki D. (2013). Bread enriched with quinoa leaves-The influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food Chemistry*. 162, 54-62.

90. Totosaus, A., López, H. & Güemes, N. (2013). Effect of lupinus (*Lupinus albus*) and jatropha (*Jatropha curcas*) protein concentrates on wheat Dough texture and bread quality: optimization by a d-optimal mixture design. *Journal of Texture Studies*. 44, 424-435.
91. Upadhyay, R., Ghosal, D. & Mehra A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*. 109, 104-113.
92. Valenzuela, J. (2012). El mundo del pan: una merienda con sabor. Organó informativo de la Cámara Nacional de la Industria de la Panificación (CANAINPA). 276, 1405-1427.
93. Varela, P. & Fiszman, S. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*. 25, 1801–1812.
94. Wang, J., Rosell, C. & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*. 79, 221-226.
95. Wang, S., Karrech, A., Regenauer-Lieb, K. & Chakrabati-Bell, S. (2013). Digital bread crumb: Creation and application. *Journal of Food Engineering* 116, 852-861.
96. Wang, X., Choi, S. & Kerr, W. (2004). Water dynamics in white bread and starch gels as affected by water and gluten content. *LWT-Food Science and Technology*. 37, 3, 377-384.
97. Xu, Z. & Howard L. (2012). Analysis of Antioxidant- Rich Phytochemicals.. John Wiley And Sons Lid. First edition. falta pais.
98. Zhang, Y., Jiao J., Ren Y., Wu X. & Zhang Y. (2005). Determination of acrylamide in infant cereal-based foods by isotope dilution liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Analitica Chimica Acta*. 551, 1-2, 150-158.

99. Zhang, Y., Yiping, R., Zhao, H. & Zhang, Y. (2007). Determination of acrylamide in foods rich in traditional Chinese carbohydrates by gas chromatography with electron capture detector and micro-isotope dilution liquid chromatography combined with tandem spectrometry electrospray ionization. *Analitica Chimica Acta*. 584, 2, 322-332.
100. Zilic, S., Serpen, A., Akillioglu, G., Jankovic, M. & Gökmen V. (2012). Distributions of phenolic compounds, yellow pigments and oxidative enzymes in wheat grains and their relation to antioxidant capacity of bran and debranned flour. *Journal of Cereal Science*. 56, 652-658.

Anexos

X. ANEXOS

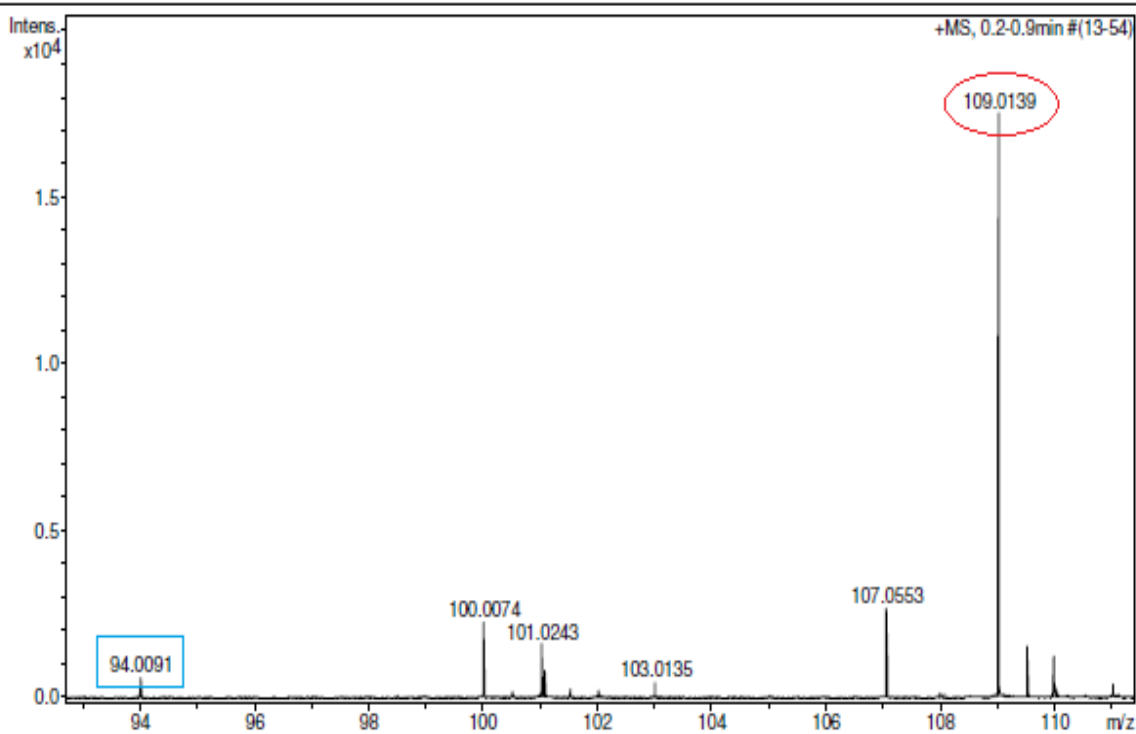
Generic Display Report

Analysis Info

Analysis Name \\MICROTOF-Q\Q1\JorgeChanona\042314_acrilamidaCB20ul.d
Method tune_low.m
Sample Name 042314_acrilamidaCB20ul
Comment ac.formico 0.05% 4mg1ml / 20ul

Acquisition Date 23/04/2014 11:07:35 a.m.

Operator Daniel
Instrument microTOF-Q II

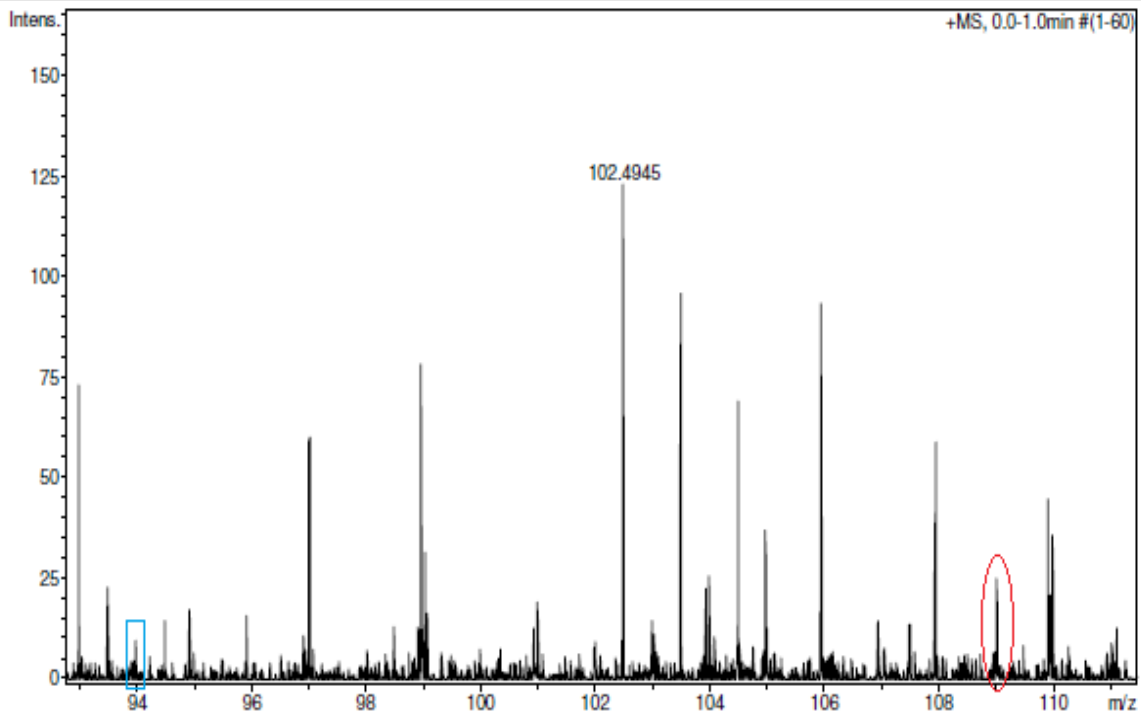


Anexo 1. Cromatogramas de iones por el método de Electro spray de Ionización acoplado a espectrometría de masas de (identificación de acrilamida pura por los aductos con Na y K).

Generic Display Report

Analysis Info

Analysis Name	\\MICROTOF-Q\Data-QII\JorgeChanona\042314_donas_control.d	Acquisition Date	23/04/2014 12:33:01 p.m.
Method	tune_low.m	Operator	Daniel
Sample Name	042314_donas_control	Instrument	microTOF-Q II
Comment	ac.formico 0.05%		



Anexo 2. Cromatogramas de iones por el método de Electro spray de Ionización acoplado a espectrometría de masas de (identificación de acrilamida pura por los aductos con Na y K en dona control).

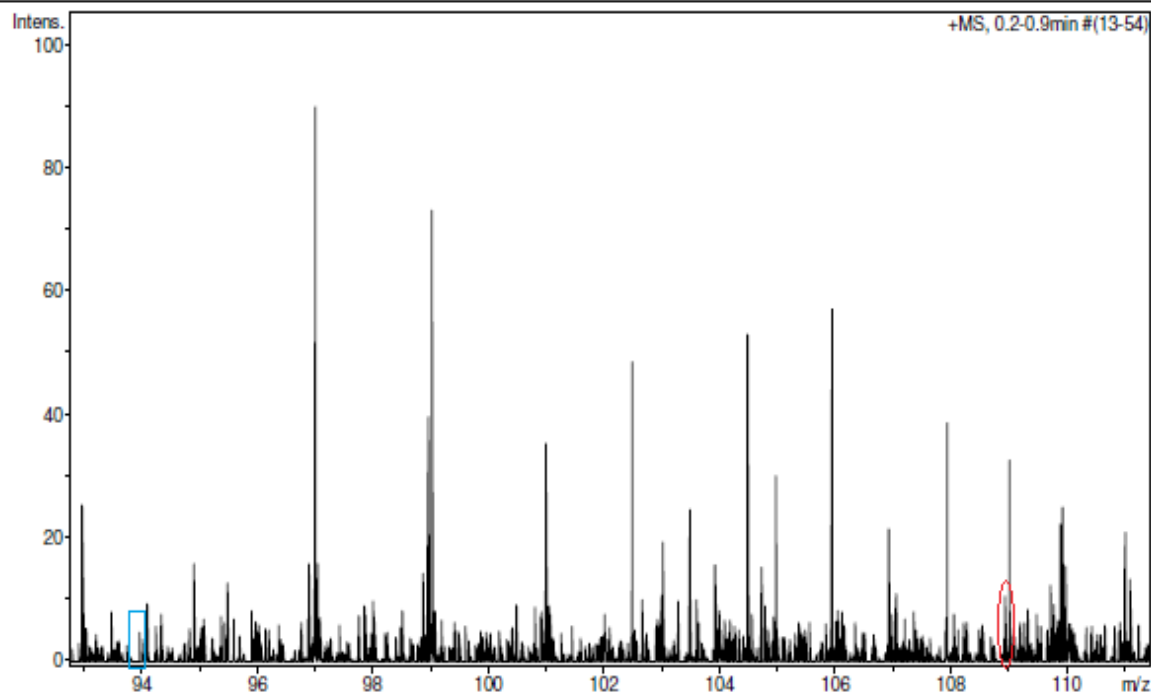
Generic Display Report

Analysis Info

Analysis Name \\MICROTOF-Q\Data-QII\JorgeChanona\042314_donasT100+10.d
Method tune_low.m
Sample Name 042314_donasT100+10
Comment ac.formico 0.05%

Acquisition Date 23/04/2014 01:00:43 p.m.

Operator Daniel
Instrument micrOTOF-Q II

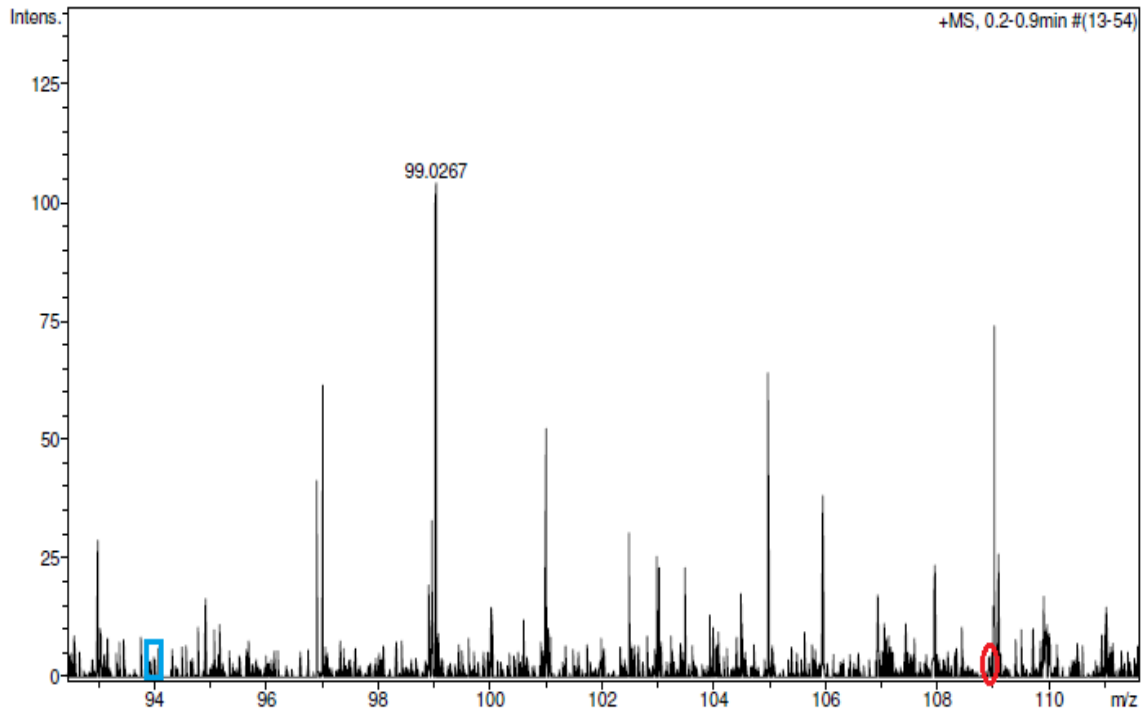


Anexo 3. Cromatogramas de iones por el método de Electro spray de Ionización acoplado a espectrometría de masas de (identificación de acrilamida pura por los aductos con *Na* y *K* en dona adicionada con 10 g de harina de cáscara de papa).

Generic Display Report

Analysis Info

Analysis Name	\\MICROTOF-Q\Data-QII\JorgeChanona\042314_donasT100+20.d	Acquisition Date	23/04/2014 01:46:07 p.m.
Method	tune_low.m	Operator	Daniel
Sample Name	042314_donasT100+20	Instrument	micrOTOF-Q II
Comment	ac.formico 0.05%		



Anexo 4. Cromatogramas de iones por el método de Electro spray de Ionización acoplado a espectrometría de masas de (identificación de acrilamida pura por los aductos con Na y K en dona adicionada con 20 g de harina de cáscara de papa).



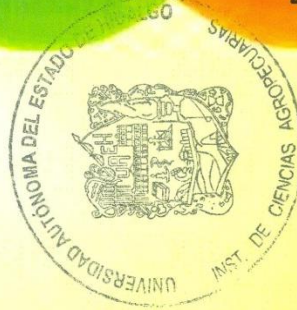
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CUERPO ACADÉMICO DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL**

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Eva María Ramos Rivera

**POR SU VALIOSA ASISTENCIA AL CURSO DE EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS
DEL 14 AL 18 DE OCTUBRE DEL 2013, CON UNA DURACIÓN DE 15 h.
Tulancingo, Hidalgo a 18 de Octubre del 2013.**



**DR. JOSE LUIS RAMIREZ ASCHERI
INVESTIGADOR DE EMBRAPA-BRASIL
INSTRUCTOR**

**DR. OTILIO A. ACEVEDO SANDOVAL
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**





La Universidad de Guanajuato y
La Universidad Autónoma de Nuevo León
otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Eva María Ramos Rivera

Por su asistencia al
Ier. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias
en Procesamiento de Alimentos y el
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Llevado a cabo del 28 al 30 de mayo de 2014 en
la ciudad de Guanajuato, Gto.

Dr. Gerardo Martínez Soto
Director del Departamento de Alimentos
Universidad de Guanajuato

Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán
Jefe del Depto. de Alimentos
Universidad Autónoma de Nuevo León

Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez
Coordinadora del evento