



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO



INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE SÉMOLA DE TRIGO CON HARINA
DE *Oxalis tuberosa* EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
REOLÓGICAS DE PASTAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

P R E S E N T A:

ING. MACARIO VICENTE FLORES

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. NORMA GÜEMES VERA

ASESORES:

Dra. AURORA QUINTERO LIRA

Dr. JAVIER PILONI MARTINI

Dra. Ma. ISABEL REYES SANTAMARÍA

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO, AGOSTO 2016



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 de la sustitución de sémola de trigo con harina de *Oxalis tuberosa* en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de pastas", que desarrolla la estudiante I.A.I. Macario Vicente Flores.

Asistentes:

Dra. Norma Güemes Vera

Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira

Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por el estudiante, comunicando a el I.A.I. Macario Vicente Flores, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

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

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 18 de Agosto del 2016.

Dra. Norma Güemes Vera

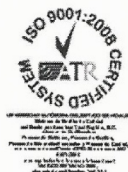
Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira

Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría



Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), pero en especial al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) por el apoyo académico y la oportunidad de prepararme en sus aulas y laboratorios.

A la Dra. Norma Güemes Vera por la dirección del presente trabajo, por sus valiosos conocimientos y sus sabios consejos, pero sobre todo, por su paciencia, motivación y apoyo, brindándome la confianza para lograr los objetivos planteados.

A mis asesores por sus excelentes observaciones y sugerencias en la realización de la presente investigación, acompañados siempre de un trato cordial y amable, que hicieron muy grata la convivencia en esta etapa.

A los profesores y personal del Área Académica de Ingeniería Agroindustrial.

A quienes estuvieron en los momentos de alegría y permanecieron en los de aflicción, me complace contar con ustedes y llamarlos amigos.

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y la paciencia para sobreponerme en los momentos más difíciles y por darme el don de la vida así como sabiduría para salir adelante.

A mis padres Lucas Vicente Reyes y Evarista Flores de la Cruz por darme la vida y guiarme en mi camino que falta mucho por recorrer, por transmitirme su fortaleza, su dedicación y por las grandes enseñanzas de los principios y valores, y, más por el gran apoyo y la oportunidad que me han dado para concluir esta etapa muy importante de mi vida.

A mis hermanos. María Elena, Antonia, Donaciano, Alejandra, Cecilia y Patricia por brindarme su gran apoyo y depositar en mí su confianza incondicional y darme las palabras de aliento para lograr esta meta.

A mis amigos y amigas que me mostraron la verdadera amistad y que fueron una familia que vivió conmigo durante la estancia de mi vida por la universidad.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a lograr mi objetivo, al hacer que mi estancia universitaria fuera más cómoda.

A TODOS MIL GRACIAS

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	MARCO TEÓRICO	3
2.1	Papa roja (<i>Oxalis tuberosa</i>)	3
2.1.1	Composición química de la papa roja.....	4
2.2	Trigo durum (<i>Triticum durum</i>)	7
2.2.1	Sémola de trigo durum	8
2.2.2	Proteínas del trigo.....	9
2.2.3	Papel del gluten en la industria de las pastas.....	10
2.2.4	Sustitutos del gluten en las pastas	11
2.3	Enfermedad Celiaca (EC)	12
2.4	Pastas	13
2.4.1	El almidón en las pastas	14
2.4.2	Propiedades del almidón.....	15
2.4.3	Digestibilidad del almidón	16
2.4.4	Estadísticas de producción de pasta.....	17
2.4.5	Clasificación de las pastas	18
2.4.6	Pastas libres en gluten	19
2.4.7	Formulación de pastas libres en gluten (PLG)	20
2.4.8	Propiedades de harinas de almidones libres en gluten	20
2.4.9	Tecnología de procesamiento de pastas.....	21
2.4.10	Calidad y valor nutricional de las pastas sustituidas	22
2.5	Técnicas de microscopia aplicadas en los alimentos	24
3	JUSTIFICACIÓN.....	28
4	OBJETIVOS.....	29

4.1	Objetivo general.....	29
4.2	Objetivos específicos	29
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1	Materia prima.....	30
5.2	Obtención de harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	30
5.2.1	Pre-gelatinización de la harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	30
5.3	Distribución de partícula por análisis de imagen.....	31
5.4	Análisis químico proximal.....	32
5.5	Diseño experimental	32
5.6	Pruebas de textura para las masas.....	34
5.6.1	Análisis de perfil de textura.....	34
5.6.2	Extensibilidad de masas	34
5.7	Elaboración de pastas.....	35
5.8	Evaluación de calidad de pastas.....	35
5.8.1	Pérdidas por cocción.....	35
5.8.2	Peso de cocción	36
5.8.3	Absorción de agua	36
5.8.4	Determinación de color en pastas.....	36
5.8.5	Extensibilidad en pastas	36
5.9	Caracterización de la pasta por microscopia.....	37
5.9.1	Microscopia de luz.....	37
5.9.2	Microscopia de fuerza atómica (AFM)	37
5.10	Evaluación sensorial.....	38
5.11	Análisis estadístico.....	39
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES	40

6.1	Análisis químico proximal de la harina nativa y pre-gelatinizada de <i>Oxalis tuberosa</i> ..	40
6.2	Distribución de tamaño de partícula de harina nativa y pre-gelatinizada de <i>Oxalis tuberosa</i>	41
6.3	Propiedades de textura en masas para pastas	45
6.4	Calidad en pastas	49
6.4.1	Color en pastas	49
6.4.2	Calidad de cocción en pastas	53
6.4.3	Textura en pastas	55
6.5	Caracterización de pastas por microscopia	56
6.5.1	Microscopia de luz	56
6.5.2	Microscopia de fuerza atómica (AFM)	57
6.6	Evaluación del análisis sensorial	61
7	CONCLUSIONES	63
8	BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tubérculo de *Oxalis tuberosa* (a); planta del tubérculo (b) 3

Figura 2. Estructura del grano de trigo 8

Figura 3. Imágenes de SEM de pastas libres en gluten 25

Figura 4. Microestructura de pastas libres en gluten refiriéndose a la presencia de poros y fracturas observadas por SEM (a y b) 26

Figura 5. Formato de evaluación sensorial 38

Figura 6. Imágenes de microscopia óptica de harina nativa de *Oxalis tuberosa* (a) y harina pre-gelatinizada (b) 42

Figura 7. Gráficas del área de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina nativa de *Oxalis tuberosa* 43

Figura 8. Gráficas del diámetro de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina nativa de *Oxalis tuberosa* 43

Figura 9. Gráficas del área de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* 44

Figura 10. Gráficas del diámetro de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* 44

Figura 11. Imágenes digitales de las pastas seleccionadas para visualizar el color 52

Figura 12. Imágenes de microscopia óptica de las superficies de pastas seleccionadas 59

Figura 13. Imágenes de la topografía 3D y 2D en microscopia de fuerza atómica (AFM) de formulaciones de pastas 60

Figura 14. Evaluación sensorial afectiva para pastas seleccionadas 62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aporte nutricional de *Oxalis tuberosa* 4

Cuadro 2. Valor nutricional de *Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosa* 5

Cuadro 3. Perfil de aminoácidos de *Oxalis tuberosa* 5

Cuadro 4. Contenido de antioxidantes (g/100 g polvo) en papa (*Oxalis tuberosa*) 6

Cuadro 5. Proteínas de las fracciones de Osborne. 9

Cuadro 6. Tipos de almidón resistente (AR)..... 17

Cuadro 7. Producción de pastas alimenticias en el mundo. 17

Cuadro 8. Consumo de pasta alimenticia en el mundo (kg per cápita)..... 18

Cuadro 9. Estructura del diseño experimental simplex..... 33

Cuadro 10. Análisis químico proximal en harina nativa y pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*
..... 41

Cuadro 11. Relación de aspecto y factor de forma de partículas de harina nativa *Oxalis tuberosa* 45

Cuadro 12. Relación de aspecto y factor de forma de partículas de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* 45

Cuadro 13. Análisis del perfil de textura (APT) en masas para formulaciones de pastas .. 48

Cuadro 14. Extensibilidad de masas para la formulación de las pastas 49

Cuadro 15. Evaluación de los parámetros de color en pastas 51

Cuadro 16. Calidad de cocción de pastas 55

Cuadro 17. Análisis de parámetros de textura en pastas 56

Cuadro 18. Valores de la rugosidad de las pastas seleccionadas por análisis de AFM 61

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución parcial de la sémola de trigo (ST) mediante la adición de harina de pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* (HPO) en las propiedades físicas, texturales y microestructurales de pastas. Con el fin de establecer las proporciones de adición de HPO, se planteó un diseño *Simplex* (optimal) de mezclas, obteniendo así 14 formulaciones de masas para pastas y evaluadas reológicamente donde se encontraron diferencias significativas en el análisis de perfil de textura, observándose que el aumento del porcentaje de HPO incrementó los valores de dureza de la masa, mientras que para el parámetro de la extensibilidad en masas se encontró que disminuye en un intervalo de 7.05- 9.99 mm.

Las formulaciones de las pastas seleccionadas se elaboraron y evaluaron, encontrándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la calidad de cocción, el color y la textura, se observó que la alta sustitución de ST afectó las propiedades físicas en gran medida afectando la calidad de cocción, mostrando pérdidas que son de un 15.71% para la F2 y de 39.7% para la F8 pastas de reemplazo total de ST y consideradas como pastas libres en gluten, mientras que el parámetro de color, la luminosidad (L^*) presentó disminución con el incremento de la adición de HPO, en contraste se observó un aumento en los parámetros a^* y b^* comparando las formulaciones sustituidas con el control (F14).

Finalmente, se realizó un análisis de la microestructura por medio de microscopía óptica y microscopía de fuerza atómica (AFM), observando así las superficies de las pastas, encontrando pequeñas grietas y la formación de agregados en la matriz de la pasta y obteniendo de esta manera parámetros de información cualitativa y cuantitativa de la rugosidad. Concluyendo este estudio con la obtención de pastas con una calidad de cocción y textura aceptable por la sustitución parcial de ST con HPO.

The objective of this study was to evaluate the effect of the partial replacement of semolina (ST) by adding pregelatinized *Oxalis tuberosa* flour (POF) in the physical properties, microstructural and textural pasta. In order to establish the proportions of addition of POF, is posed a Simplex (optimal) mixing design, thus obtaining 14 formulations dough's pasta and assessed rheologically where significant differences in the analysis of texture profile found, showing that the POF increased percentage of increased hardness values of the dough, while for the parameter of the extensibility mass was found to decrease in a range of 7.05- 9.99 mm.

The formulations of selected pasta were prepared and evaluated, significant differences ($P \leq 0.05$) in cooking quality, color and texture, it was observed that high substitution of ST affect the physical properties greatly affecting the quality of cooking, showing losses are of a 15.71% for F2 and 39.7% for F8 pastes total replacement of ST and considered free pastes in gluten, while the color parameter, the brightness (L^*) provided decrease with increasing addition of POF, in contrast increased parameters a^* and b^* was observed comparing the formulations replaced with control (F14).

Finally, an analysis of the microstructure was performed by means of optical microscopy and atomic force microscopy (AFM), showing the surfaces of the pastas, finding small cracks and the formation of aggregates in the matrix of the paste and thereby obtain parameters of qualitative and quantitative information on the roughness. To conclude this study with obtaining a pasta cooking quality and texture acceptable by the partial replacement of ST with POF.

1 INTRODUCCIÓN

La popularidad de la pasta está aumentando, gracias a su palatabilidad, larga vida de anaquel y sus propiedades nutricionales. La pasta tradicionalmente se elabora a partir de sémola de trigo durum (*Triticum durum*), debido a la consistencia y elasticidad de la masa directamente ligada con la fuerza del gluten. El gluten juega un papel muy importante para la formación de la masa y es el responsable de las características elásticas de la misma, esta proteína comprende las fracciones de prolaminas (gliadinas y gluteninas) (Hoseney, 1991; Serna, 2013). Los productos de pastas están elaborados de sémola de trigo, aunque recientemente otros granos, se han utilizado para sustituir parcialmente la sémola (Chillo *et al.*, 2008; Petitot *et al.*, 2010). El motivo de esta sustitución, del uso de harinas alternativas en las formulaciones de pastas podría conferir características de calidad interesantes, proporcionando modificaciones en la calidad nutricional de las diferentes formulaciones (Fiorda *et al.*, 2013). Es común elaborar pastas sin gluten o para enriquecer las mismas, utilizando algunos cereales (cebada, centeno, arroz, etc.), pseudocereales (alfarfón, amaranto, quinoa, etc.) y harinas de leguminosas (guisantes, garbanzos, etc.) o en su caso la utilización de harinas o almidones a partir de tubérculos no convencionales, para proporcionar fuentes de fibra, minerales, antioxidantes y polifenoles (Marti y Pagani, 2013; Witczak *et al.*, 2016).

La *Oxalis tuberosa* es un tubérculo de origen andino que data de más de 8000 años, puede cultivarse en terrenos muy altos con climas fríos. Esta papa y la papa blanca (*Solanum tuberosum*) permitieron el desarrollo de la civilización en las zonas más altas de los andes (Horkheimer, 2004). Su nombre proviene del quechua Oqa, Ok'a u Oca como se conoce actualmente en Perú, es apreciado por su alto contenido en azúcares (Herman, 1992). En México, la *Oxalis tuberosa* recibe los nombres de: papa roja, papa yuca, papa inglesa o papa extranjera. Actualmente, su producción anual no es considerada dentro de los lineamientos de los tubérculos en México por lo que es limitada al autoconsumo y venta a pequeña escala. Puede ser consumida fresca, en mazamorra (atole), harina, salsas, relleno de piñatas y aguinaldos (Pazmiño, 2010). Además, este tubérculo tiene propiedades nutricionales interesantes, ya que contiene una alta concentración de carbohidratos, aminoácidos

esenciales, fibra, minerales y antioxidantes naturales, dentro de los cuales incluyen contenido de ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas (Han *et al.*, 2006). Por lo tanto, la adición de harina de *Oxalis tuberosa* podría ser de gran interés en la elaboración de diferentes tipos de pastas.

La producción de la pasta incluye varios pasos: molienda, mezclado, extrusión y secado (Giannetti *et al.*, 2014). Las propiedades sensoriales y la textura de la pasta dependen no sólo de sus materias primas, sino también de las condiciones de producción (Giannetti *et al.*, 2014; Wójtowicz y Leścicki, 2014). La calidad en general de la pasta es principalmente debido a su resistencia a la cocción, la firmeza y baja pegajosidad. Además, la cantidad y la calidad de la proteína presente en la formulación de la pasta juega un papel importante en sus propiedades y la aceptabilidad en general (Mirhosseini *et al.*, 2015). Los tratamientos térmicos bajo condiciones específicas de humedad, seguidos de un enfriamiento son útiles para dar rigidez a la pasta cocida, y para reducir tanto la pegajosidad de la superficie y la pérdida de materiales solubles durante la cocción (Mestres *et al.*, 1988; Mariotti *et al.*, 2011). Sin embargo, los altos niveles de sustitución de sémola la han conducido a que las muestras presenten bajas propiedades de cocción. El grado de rigidez, la firmeza, la absorción de agua y la pérdida de sólidos en la pasta son indicadores de calidad para la determinación del porcentaje de sustitución aceptable, sino que es necesario evaluar estos parámetros para lograr un equilibrio o balance nutricional-tecnológico (Petitot *et al.*, 2010; Giménez *et al.*, 2012).

Actualmente en el mercado existen productos libres en gluten (GF) o parcialmente sustituidos, consumidos no solo por el creciente número de celíacos sino también por otros individuos que desean excluir productos a base de gluten de su dieta por razones de salud (Marti y Pagani, 2013).

Por tal motivo, se ha considerado evaluar el efecto de la adición de harina de *Oxalis tuberosa* para la elaboración de pastas, proporcionando información que pueda ser útil en el diseño de nuevos productos y aumentar la gama de variedades hacia los consumidores.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Papa roja (*Oxalis tuberosa*)

La *Oxalis tuberosa* o conocida comúnmente como Oca es un tubérculo de origen andino que data de más de 8000 años (Fig.1), puede cultivarse en terrenos muy altos y con climas fríos. Esta y la papa blanca (*Solanum tuberosum*) permitieron el desarrollo de la civilización en las zonas más altas de los andes (Horkheimer, 2004). Su distribución en México fue posiblemente por el intercambio entre las culturas Azteca-Inca. En este país, la *Oxalis tuberosa* recibe los nombres de: papa roja, papa yuca, papa inglesa o papa extranjera. Actualmente, su producción anual no es considerada dentro de los lineamientos de los tubérculos por lo que es limitada al autoconsumo y venta a pequeña escala (Pazmiño, 2010).

La *Oxalis tuberosa* son plantas anuales herbáceas, arbustivas, pocas veces arborescentes, a menudo provistas de bulbos subterráneos o tubérculos, los cuales presentan un color superficial que varía del blanco a crema, amarillo, naranja, rosa y morado; mientras que su cosecha se efectúa de seis a ocho meses de su periodo vegetativo. A esta familia pertenecen aproximadamente 7 géneros con cerca de 900 especies distribuidas ampliamente en regiones templadas y tropicales de ambos hemisferios (Pérez, 2009).



Figura 1. Tubérculo de *Oxalis tuberosa* (a); planta del tubérculo (b).

Fuente: Adaptado de: Permaculture, 2012.

2.1.1 Composición química de la papa roja

En el Cuadro 1 se muestra el aporte nutrimental de la *Oxalis tuberosa* (Cajamarca, 2010). La proteína en la oca fresca (1.10%) es menor en relación con el contenido de la oca endulzada (5.30%), mientras que en las muestras deshidratadas tanto de la fresca (8.60%) como de la endulzada (9.80%) ambas deshidratadas a 80°C, son mayores en relación con las muestras frescas, esto se debe a que a medida que progresa la deshidratación el agua disminuye y los solutos se concentran. Así como para el almidón de la oca fresca (10.60%) es mayor en comparación con la muestra endulzada (7.20%), esto se debe a que el almidón contenido inicialmente se convierte en glucosa debido a la hidrólisis ocasionada por la exposición al sol, mientras que para la fibra en la oca fresca (0.80%) es menor con respecto a la endulzada (3.0%) y, las muestra deshidratadas son mayores los porcentajes con valores de 6.80% oca fresca deshidratada y la endulzada 7.30%, esta diferencia se debe a que en el proceso de endulzado y el proceso de deshidratación, el almidón se gelatiniza y la celulosa se critalinice ocasionando que la textura sea más rígida y dura, siendo así que el mayor contenido de fibra de estos productos nos lleva a creer que podría usarse en la dieta alimenticia como un posible alimento nutritivo y dietético (Cajamarca 2010).

Cuadro 1. Aporte nutricional de *Oxalis tuberosa*.

Parámetros	OCA	Deshidratado	OCA	Deshidratado
	Fresca	80°C	Endulzada	80°C
Humedad (%)	80.10	15.10	51.00	13.00
Cenizas (%)	3.90	7.30	4.30	8.10
Azúcares Totales (%)	14.10	59.10	36.40	61.80
Azúcares Reductores (%)	4.70	21.90	21.10	34.60
Azúcares no Reductores (%)	9.40	37.20	15.60	27.20
Fibra (%)	0.80	6.80	3.00	7.30
Proteína (%)	1.10	8.60	5.30	9.80
Almidón (%)	10.60	23.70	7.20	17.40
Ácido Oxálico mg/100 g	135.00	31.40	72.00	54.40
Ácido ascórbico mg/100 g	187.19	71.93	65.34	41.96

Fuente: Cajamarca, 2010.

La papa roja es comparado nutricionalmente con la papa (*Solanum tuberosa*) (Cuadro 2) y se considera como una rica fuente de carbohidratos, calcio y hierro (Chirinos *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Valor nutricional de *Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosa*.

Componente	<i>Oxalis tuberosa</i> (g/100g)	<i>Solanum tuberosa</i> (g/100g)
Proteína	5.7	2.0
Carbohidratos	8.5	14.7
Grasa	0.6	0.1
Cenizas	2.7	1.0
Fibra	4.6	2.2
Humedad	82.4	80.0
Calorías/100 g	371.4	87.0
Calcio	40-247 ppm DM	7 mg/100g
Hierro	8-49 ppm MS	4 mg/100g

Fuente: Adaptado 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 3 se muestra el contenido de aminoácidos de *Oxalis tuberosa*.

Cuadro 3. Perfil de aminoácidos de *Oxalis tuberosa*.

Aminoácido	mg de aminoácido/g proteína
Lisina	58.0
Treonina	46.0
Valina	37.0
Isoleucina	41.0
Leucina	56.5
Fenilalanina + Tirosina	62.5
Triptófano	6.75

Fuente: Adaptado de Steven, 1987.

Los tubérculos del género (*Oxalis tuberosa*) poseen propiedades antioxidativas debido a su contenido de ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas (estos solo para el genotipo morado) que contribuyen más a la capacidad antioxidante de este tubérculo, cabe señalar que este tubérculo contiene cantidades importantes de antioxidantes fotoquímicos tal como se puede observar en el Cuadro 4 (Han *et al.*, 2006; Chirinos *et al.*, 2009). Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. El sistema de defensa antioxidante está constituido por compuestos de naturaleza enzimática como: superóxido dismutasa, catalasa, glutathion peroxidasa, y compuestos de naturaleza no enzimática como: vitamina E, beta-caroteno, vitamina C, glutathion reducido, albúmina, flavonoides y metales de transición como Se, Cu, Zn, entre otros (Cespedes y Sanchez, 2000; Troncoso *et al.*, 2003; Kuskoski *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Contenido de antioxidantes (mg/100 g harina) en papa (*Oxalis tuberosa*).

	Purpura claro	Purpura oscuro medio
Polifenoles (ácido gálico mg/100g)	241.7	505.4
Flavonoides (catequina mg/100g)	65.7	131.4
Antocianinas (mg/100g)	55.5	213.8

Fuente: Han *et al.*, 2006.

El estrés oxidativo ha sido asociado a la patogénesis de muchas enfermedades humanas, es por ello que el uso de antioxidantes en farmacología es estudiado de forma intensiva, particularmente como tratamiento para accidentes cerebrovasculares y enfermedades neurodegenerativas. (Cespedes y Sanchez, 2000; Troncoso *et al.*, 2003; Kuskoski *et al.*, 2004).

Los alimentos, al igual que las células del organismo humano, también pueden generar radicales libres; sin embargo también pueden contener sustancias antioxidantes y ejercer su actividad, al igual que las plantas medicinales. Los compuestos fenólicos que son metabolitos secundarios de las plantas, en diversas estructuras y amplia distribución filogenética. 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).

Actualmente, en el desarrollo de productos con mejores aportes nutricionales, se están empleando harinas o almidones procedentes principalmente de maíz, arroz, papa u otros tubérculos que poseen cualidades de mejor calidad en sus composición química y con la incorporación de aditivos e hidrocoloides que pueden actuar como sustitutos del gluten que se encuentra principalmente en los productos elaborados a partir de trigo.

2.2 Trigo durum (*Triticum durum*)

El trigo al igual que todos los cereales, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. Los granos de trigo son de forma ovalada, con extremos redondeados, el germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos (Figura 2). A lo largo de la cara ventral hay una depresión (el surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas.

El grano se compone principalmente de tres partes: salvado, endospermo y germen, encontrándose la mayor parte de las proteínas y almidones del cereal en el endospermo. La calidad de este grano se determina de acuerdo al contenido proteico que puede variar de 6.5-12.5% para trigos cristalinos (semolinas), 10.5-14.5% para trigos duros (calidad panadera) y 8.0-10.5% para trigos suaves (calidad galletera). A nivel estructural en los trigos duros existe una interacción de la parte proteica que envuelve a los almidones presentes en él y por el contrario en los trigos suaves no existe esta interacción. La cantidad de almidón en el trigo varía entre el 70 y 75% (Kent, 1987; Hosney, 1991; Serna, 2013).

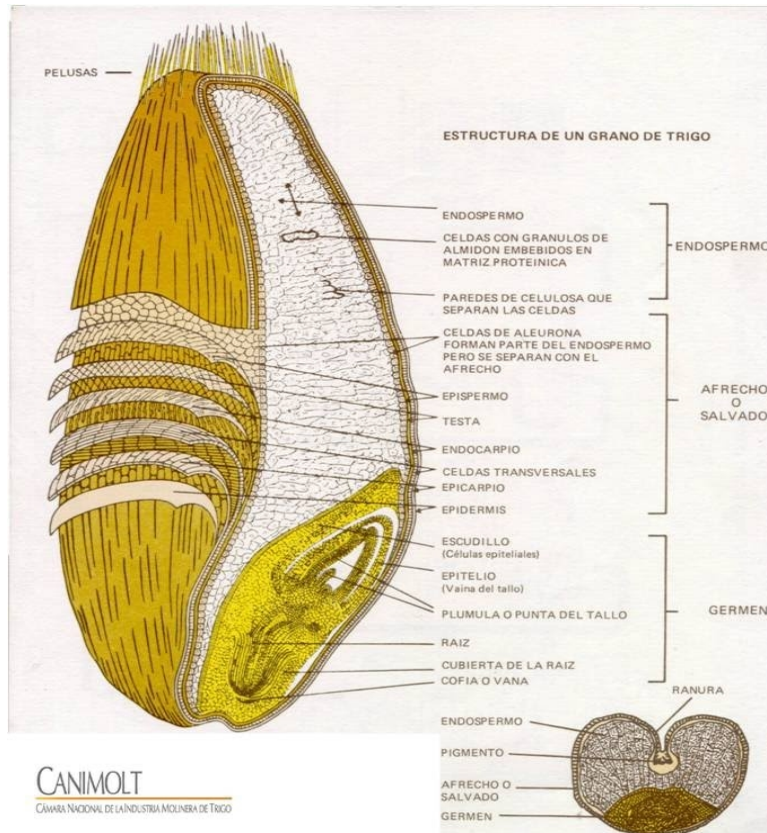


Figura 2. Estructura del grano de trigo. Fuente: CANIMOLT, 2015.

El trigo cristalino es la materia prima preferida para la producción de pasta, ya que el contenido de proteína y la composición de este grano tienen un impacto importante sobre las propiedades reológicas de la masa y la calidad de cocción de la pasta. Por lo general, la pasta elaborada únicamente con trigo durum tiene mayor firmeza y se mantiene con mayor calidad después de la cocción, mientras que la pasta elaborada con trigo de gluten débil es propensa al deterioro y se vuelven demasiado blandas con la cocción excesiva (Sissons *et al.*, 2007).

2.2.1 Sémola de trigo durum

Durante la molienda, el trigo durum o cristalino se convierte en partículas gruesas, es decir, la sémola, y se utiliza para la producción de pasta (Delcour *et al.*, 2010). La sémola de trigo durum es un producto granular de color amarillo oscuro y estructura vítrea, proveniente de la molienda del endospermo del grano obteniendo una harina de granulo grueso libre de tegumentos y germen (Hoseney, 1991; Granito *et al.*, 2003; CANIMOLT, 2015). Así mismo, en el *Codex Alimentarius* se establece que la sémola debe tener un contenido máximo de

humedad de 14.5%, un mínimo de 10.5% de proteína y un límite máximo de cenizas del 1.3% (*Codex Stan 178/1991*, 1991).

2.2.2 Proteínas del trigo

Las proteínas de los cereales se han dividido en cuatro categorías según su solubilidad por Osborne que consiste por el medio de extracción de las fracciones solubles en agua, sales, alcohol y ácidos (Cuadro 5), la cual no ha sido modificada (Hoseney, 1991).

Cuadro 5. Proteínas de las fracciones de Osborne.

Fracción Osborne	Solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de tipo prolaminas	Viscosidad de la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Fuente: Hoseney, 1991.

Las proteínas del gluten son proteínas de reserva del trigo, las cuales se aíslan con cierta facilidad en estado relativamente puro por ser insolubles en agua, mientras que el almidón y las sustancias hidrosolubles se pueden eliminar del gluten trabajando suavemente la masa bajo una pequeña corriente de agua, ya que tras el lavado queda una pelota gomosa de gluten (Hoseney, 1991). El complejo gluten, está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadina (43%) y glutenina (39%), estas son únicas en términos de su composición de aminoácidos, que se caracterizan por un alto contenido de glutamina y prolina; además,

del bajo contenido de aminoácidos con grupos laterales cargados; y otros componentes como: lípidos (2.8%).

Las gliadinas son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares, su peso molecular medio es de unos 40,000 Da, son de cadena simple y extremadamente pegajosas cuando están hidratadas (Hoseney, 1991), representan alrededor de 30% de proteínas totales (del grano de trigo), y se pueden clasificar en α , β , γ y ω - gliadinas (Susanna y Prabhasankar, 2013). Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la masa. Mientras que las gluteninas son proteínas poliméricas de cadena ramificada y de alto peso molecular (Hoseney, 1991), en la cual, las subunidades de alto peso molecular (HMG) y subunidades de bajo peso molecular (LMG) están unidos entre sí por enlaces disulfuro (Susanna y Prabhasankar, 2013). Su peso molecular oscila entre 100,000 y varios millones de Da, con un promedio de tres millones. Físicamente, la proteína es elástica, pero no coherente, esta confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1991). El gluten es fundamental para la producción de una gran variedad de alimentos, como productos de panificación y pastas. Las proteínas del trigo se caracterizan por un comportamiento viscoelástico típico que permite la creación de redes, la formación de la masa óptima durante el mezclado. Esto le confiere los atributos de calidad a la pasta cocida relacionado con la formación de una matriz homogénea (Mariotti *et al.*, 2011; Padalino *et al.*, 2013).

2.2.3 Papel del gluten en la industria de las pastas

El gluten va a estar presente en estructuras en forma de cuña que se encuentran entre los gránulos de almidón. Es el material vítreo cuando está seco, pero la adición de una cantidad moderada de agua permite que se produzca cambios en su naturaleza física y química. El gluten se transforma en un material gomoso y elástico que adquiere la capacidad de formar cadenas y láminas mediante el establecimiento de puentes intermoleculares (Liu *et al.*, 1991). Estas propiedades son fundamentales para su papel como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en la pasta y mantiene la forma del producto durante su elaboración y cocción. Al calentar el gluten hidratado se forman enlaces cruzados proteína-proteína

irreversibles que, cuando se controlan adecuadamente, estabilizan la estructura y la textura comestible de la pasta final (Feillet y Dexter, 1996).

Los fabricantes de pastas prefieren normalmente semolinas con alto contenido proteico (12%) ya que tendrán una cantidad mínima de partículas de semolina almidonosa y esto conduciría a que la hidratación sea más uniforme durante el mezclado y produciría una pasta físicamente fuerte y elástica; las pastas se hidrataran adecuadamente durante la cocción y por lo tanto, los valores de sedimentación serán bajos, además de que se mantendrá firme mientras permanece en el agua de cocimiento y después de ser servidas (Fabriani y Lintas, 1998).

2.2.4 Sustitutos del gluten en las pastas

La sustitución de la red de gluten para producir productos que no lo contengan es un aspecto tecnológico importante. Por lo tanto, las sustancias que imitan las propiedades viscoelásticas del gluten son siempre necesarias en los productos libres de este (Mariotti *et al.*, 2011). Sin embargo, la mayoría de los productos sin gluten muestran poca calidad de cocción, particularmente cuando son comparados con productos elaborados con trigo, así como nutrimentalmente de menor calidad, pobres en minerales y proteínas. El principal problema al elaborar un producto sin gluten está asociado con el papel que tiene el gluten en el sistema alimenticio (Marti *et al.*, 2013).

Se han estudiado las diversas propiedades del almidón, y en particular, la retrogradación, con la finalidad de formar una red de almidón retrogradado, que pueda ser una alternativa a la red de gluten, siendo esta propiedad útil para dar rigidez a la pasta cocida y la pérdida de materiales solubles hacia el agua de cocción. Para tener una buena cantidad de almidón retrogradado en los productos, es necesario inducir la desorganización de almidón mediante tratamientos térmicos llevados a cabo bajo condiciones de humedad específicas, seguido por fases de enfriamiento. Se requiere de una cantidad de amilosa, ya que esta puede crear una red tridimensional durante el enfriamiento del almidón gelatinizado. Estas transformaciones de almidón pueden ser inducidas durante el proceso, o como alternativa se pueden usar como materias primas harinas o almidones pre-gelatinizados, además de otros ingredientes (Mariotti *et al.*, 2011). Otros sustitutos del gluten empleado para la elaboración de productos

sin gluten son los hidrocoloides, por su característica de proporcionar consistencia. Se han empleado una amplia gama de hidrocoloides como son: goma arábiga, xantana, carboximetilcelulosa (CMC), Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), entre otras (Marti *et al.*, 2013; Larrosa 2014). El uso alternativo de nuevos ingredientes para el desarrollo de nuevas formulaciones de productos con sustitución parcial o total de las proteínas del gluten, se debe a las nuevas tendencias de alimentación de la población de personas que padecen una intolerancia a estas proteínas del gluten llamando a este padecimiento como enfermedad celiaca (EC).

2.3 Enfermedad Celiaca (EC)

La enfermedad celiaca (EC) se refiere a una intolerancia permanente a las proteínas del gluten, que es causada por una respuesta inmune inapropiada al incluir en la dieta gluten de trigo o proteínas similares de cebada o centeno (Susanna y Prabhasankar, 2013). Es por ello que, cuando las personas con enfermedad celiaca consumen gluten, su sistema inmune genera anticuerpos contra esta proteína, las cuales atrofian las vellosidades del intestino delgado, y como consecuencia, existe una mala absorción de varios nutrientes importantes, incluyendo el hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas (Larrosa *et al.*, 2013).

Antiguamente, se consideraba a la EC como un trastorno extraño, que afectaba mayormente a individuos de origen europeo, caracterizado por su aparición durante los primeros años de vida. Diversos son los estudios en los que se ha demostrado recientemente que la EC es uno de los trastornos crónicos más comunes que afectan a los habitantes de todo el mundo. La EC es frecuente no sólo en los países desarrollados sino que su presencia está aumentando en países en desarrollo, como el norte de África e India, donde puede contribuir sustancialmente a la morbilidad y mortalidad infantil (Catassi, 2008).

La base del tratamiento para esta patología es una dieta de por vida libre de gluten (LG), específicamente proteínas de reserva, o prolaminas, que se encuentran en algunos cereales tales como gliadina en el trigo, secalina en centeno y hordeína en la cebada (Larrosa *et al.*, 2013). Desafortunadamente, las proteínas formadoras de gluten son fundamentales para la producción de una gran variedad de alimentos, incluyendo pastas, más apropiadamente a partir de trigo duro, debido a que sus proteínas se caracterizan por un comportamiento viscoelástico, es por ello que la sustitución de la red de gluten para elaborar productos LG se

ha convertido en un importante reto tecnológico, ya que las sustancias que imitan las propiedades viscoelásticas de esta proteína son siempre necesarios en estos productos (Larrosa *et al.*, 2013).

Hoy en día, se utilizan más harinas de almidones libres en gluten, saltándose así la etapa costosa de extracción de almidón de los granos. Además, desde un punto de vista tecnológico, el uso de harinas ha permitido explotar la presencia de interacciones entre el almidón y otros componentes, tales como proteínas y lípidos (Martí y Pagani, 2013). Y de acuerdo a lo reportado por la Fundación Celíaca, la pasta es uno de los productos más demandados por las personas con dicha enfermedad (Puppini *et al.*, 2012).

2.4 Pastas

La pasta es muy popular por su facilidad de cocinar, larga vida útil y por sus cualidades nutricionales. En particular, las pastas son consideradas como alimentos de bajo índice glucémico, aunque se fabrica de manera tradicional usando solamente harina de trigo duro, es posible no usar trigo durum como ingrediente en pastas alimenticias, específicamente marcado con mezclas (Brennan *et al.*, 2004). También es una fuente de carbohidratos (74-77%) y proteínas (11-15%), aunque es deficiente en lisina y treonina, común a la mayoría de los productos de cereales. Esto proporciona una oportunidad para el uso de materias primas no tradicionales para aumentar la calidad nutricional de pastas (Petitot *et al.*, 2010).

El almidón es el componente principal de la pasta (67% aproximadamente) que tiene una estructura jerárquica y, en consecuencia, para evaluar adecuadamente los cambios que se producen debido a la inclusión de almidón resistente (AR) en la pasta y la influencia resultante de la digestión enzimática, por lo que una amplia gama de métodos de caracterización son esenciales. Cabe destacar que la pasta tiene un índice glucémico menor que el pan blanco, debido a la estructura compacta creada durante el proceso de extrusión lo cual conduce a una red densa de proteína que reduce la disponibilidad de los gránulos de almidón al ataque de α -amilasa (Aravind *et al.*, 2013).

2.4.1 El almidón en las pastas

El almidón es uno de los polímeros básicos de almacenamiento en muchas plantas. Se compone de dos tipos de moléculas, amilopectina y amilosa. En ambos casos, el bloque de construcción es un residuo de α -glucopiranososa, formando enlaces glucosídicos α - 1,4 en la estructura lineal de amilosa y ramificaciones por enlaces glucosídicos α - 1,6 adicionales en las moléculas de amilopectina. Las diferencias en la estructura de ambos polímeros dan como resultado una variación significativa en sus propiedades. La amilosa es mucho más propensa a procesos de cristalización, llamada retrogradación, y puede formar geles duros y películas fuertes, mientras que la amilopectina puede ser dispersada en agua y retrograda mucho más lento, lo que resulta en geles suaves y películas débiles (Hoover, 2001; Pérez y Bertoft, 2010). Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del polímero, constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual, además, de que se utiliza en la industria alimenticia, especialmente en la manufactura de las harinas, en la producción de pan y en la modificación de la textura y consistencia de algunos alimentos (Prieto *et al.*, 2009; Flores-Silva, 2011).

Las fuentes potenciales más importantes de almidón son los granos de cereales, leguminosas, tubérculos y frutas inmaduras o verdes. El almidón se encuentra organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura supramolecular, son características de cada especie botánica. Regularmente la variación del tamaño de los gránulos va desde 0.5 a 100 μm y pueden presentar forma redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal (Bello-Pérez *et al.*, 2009; Copeland *et al.*, 2009; Pérez y Bertoft, 2010). Aunque la aplicación de almidones nativos se limita principalmente a los aspectos de los alimentos, los gránulos y polímeros podrían ser fácilmente modificados por medios químicos, físicos y enzimáticos, que permitan obtener productos con propiedades fisicoquímicas y funcionales deseables (Pietrzyk *et al.*, 2013; Bello-Pérez *et al.*, 2009; Witczak *et al.*, 2016).

2.4.2 Propiedades del almidón

El Maíz, arroz, trigo y papa son las principales fuentes de almidones que difieren significativamente en su composición, morfología, propiedades térmicas, reológicas y de retrogradación (Singh *et al.*, 2003). Durante el tratamiento térmico, los gránulos de almidón gelatinizan, perdiendo así su cristalinidad y la organización estructural, posteriormente tras un proceso de refrigeración estas moléculas colapsadas, primero forman un gel y, a continuación retrogradan gradualmente en agregados semí-cristalinos que difieren en la forma de los gránulos naturales (Copeland *et al.*, 2009).

La gelatinización se produce cuando el almidón natural se calienta en presencia de humedad suficiente (Copeland *et al.*, 2009), y este es el resultado del colapso de la estructura del gránulo de almidón en su ordenación molecular y cambios irreversibles en sus propiedades, incluyendo la pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hinchamiento de los gránulos y la lixiviación de algunos componentes, principalmente de amilosa (Zavareze y Guerra, 2011). Esta desorganización, es debida al desenrollamiento de las dobles hélices, el gránulo se torna traslúcido y soluble, pierde su poder birrefringente (alto grado de estructuración), y no puede obtener nuevamente su forma original.

La gelificación debe ser posterior al proceso de gelatinización; durante esta etapa se lleva a cabo la formación de un gel, el cual se obtiene hasta que se enfría una pasta de almidón, debido a que las moléculas de amilosa que se disolvieron comienzan a re-asociarse nuevamente mediante enlaces intermoleculares como puentes de hidrógeno, formando una red donde el agua queda atrapada y solidifica el producto. La retrogradación se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización, se manifiesta por la formación de precipitados o geles y endurecimiento (Ramírez, 2012). Es un fenómeno por el cual se solubilizan moléculas de amilosa y las fracciones lineales de amilopectina forman re-asociaciones mediante enlaces de hidrógeno. Este proceso se ha utilizado para describir los cambios que ocurren en el almidón después de la gelatinización, desde un estado inicialmente amorfo a un estado más ordenado o cristalino (Zavareze y Guerra, 2011; Badui, 2013). Los cambios que ocurren en los gránulos de almidón durante la gelatinización y retrogradación son los principales determinantes de los comportamientos de pastas de almidón, que se han

cuantificado principalmente a través de la medición de cambios en la viscosidad durante el calentamiento y enfriamiento de dispersiones de almidón (Zavareze y Guerra, 2011).

2.4.3 Digestibilidad del almidón

El almidón es la principal fuente de energía en la dieta de la mayoría de los seres humanos. El grado de procesamiento al que ha sido sometido, así como sus propiedades fisicoquímicas, determinan su digestibilidad y por lo tanto su calidad nutricional. Se ha clasificado por Englyst *et al.*, (1996) en tres grupos de acuerdo a la velocidad en que es hidrolizado por las enzimas digestivas: almidón de digestión rápida, almidón de digestión lenta y almidón resistente. Los de digestión rápida son los que ocasionan la liberación de glucosa en los primeros 20 min después de su consumo, mientras que los de digestión lenta, lo hacen posterior a los 20 min y hasta los 120 min. La fracción de digestión lenta es digerida lentamente y de forma completa en el intestino delgado y sus beneficios potenciales incluyen tener un metabolismo estable de glucosa en sangre, control de diabetes, mayor rendimiento mental y mayor saciedad (Blazek y Copeland, 2010; Flores-Silva, 2011).

El término almidón resistente (AR) es la fracción del almidón presente en la dieta que escapa a la digestión en el intestino delgado de un ser humano sano. Donde, suele haber un suministro abundante de α -amilasa, que sirve para romper el almidón en fragmentos de bajo peso molecular, estos son hidrolizados a glucosa en la pared del intestino, para que después pase al torrente sanguíneo. Cuando una parte del almidón escapa a este proceso digestivo, hay varias consecuencias o beneficios importantes; el primero es que hay menos degradación del almidón a glucosa, el segundo es que el AR es transportado al colón, donde actúa de una manera similar a la fibra dietética, proporcionando una fuente de carbohidratos fermentables para las bacterias del colón, y la tercera es que los productos finales de la fermentación (acetato, propionato y butirato) tienen beneficios directos sobre la salud del colón, por lo anterior es importante conocer los tipos de AR y sus características (Cuadro 6) (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010).

Cuadro 6. Tipos de almidón resistente (AR).

Tipo de almidón	Característica
Almidón Resistente tipo 1	Físicamente inaccesible a la digestión por atrapamiento en una matriz no digerible.
Almidón Resistente tipo 2	Gránulos de almidón no gelatinizados con cristalinidad tipo B, lentamente hidrolizado por α -amilasa.
Almidón Resistente tipo 3	Almidón retrogradado formado cuando los alimentos que contienen almidón son cocinados y enfriados.
Almidón Resistente tipo 4	Almidón modificado químicamente que retrasa el ataque de la α -amilasa.

Fuente: Fuentes-Zaragoza, 2010.

2.4.4 Estadísticas de producción de pasta

El consumo de pasta cada vez va más en aumento por el continuo crecimiento de la población a nivel mundial. La *International Pasta Organisation* (IPO) muestra estadísticas de producción y consumo de pasta en el mundo como se puede observar en los Cuadros 7 y 8, cabe destacar que de los países con más producción y consumo de pasta es Italia, así como también se puede notar que México solo sobresale con una producción de 330,000 toneladas y un consumo per cápita de 2.7 kg.

Cuadro 7. Producción de pastas alimenticias en el mundo.

País	Toneladas	País	Toneladas
Italia	3,316,728	Egipto	400,000
E.U.A.	2,000,000	Venezuela	341,554
Brasil	1,300,000	Alemania	334,179
Rusia	1,083,000	México	330,000
Turquía	851,830	Perú	297,162
Irán	560,000	España	252,208

Fuente: IPO Annual Survey on World Pasta Industry (2014).

Cuadro 8. Consumo de pasta alimenticia en el mundo (kg per cápita).

País	kg	País	kg
Italia	26.0	Brasil	6.2
Venezuela	12.3	España	5.0
Grecia	10.5	Ecuador	3.9
Suiza	9.3	Costa Rica	3.2
E.U.A.	8.8	Colombia	3.0
Perú	8.2	México	2.7

Fuente: IPO Annual Survey on World Pasta Industry (2014).

2.4.5 Clasificación de las pastas

Pueden clasificarse según los ingredientes utilizados como pasta de sémola, pasta al huevo, pasta especial (enriquecida con tomates, espinaca u otros vegetales, etc.), pasta rellena (rellena con carne, pescado, vegetales, entre otras.), pasta dietética (enriquecida con minerales, vitaminas, etc.) o pasta libre de gluten (de maíz, arroz, pseudocereales, por mencionar algunos.); según el procesamiento, se los denomina como pasta extruida o laminada; según la forma como larga o corta (Pagani *et al.*, 2007).

De acuerdo con Gil (2010), en general, pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- *Pastas Alimenticias Simples o Pastas Alimenticias:* están elaboradas con sémola de trigo duro (*Triticum durum*), semiduro, blando o sus mezclas. Las elaboradas exclusivamente con sémola de trigo duro se clasifican como de ‘calidad superior’.
- *Pastas alimenticias compuestas:* son aquellas en cuya elaboración incorporan alguna de las siguientes sustancias: gluten, soya, huevos, leche, hortalizas, verduras o leguminosas naturales, desecadas o conservadas, jugos o extractos.
- *Pastas alimenticias rellenas:* son pastas simples o compuestas que contienen en su interior un preparado elaborado con todas o algunas de las siguientes sustancias: carne, grasas, hortalizas, productos de pesca, verduras, huevos y agentes aromáticos.
- *Pastas alimenticias frescas:* cualquiera de las anteriores sin proceso de desecación.

Los fideos de almidón o típicamente conocidos como noodles en los países asiáticos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes parámetros tales como: tipo de materia prima, tamaño de las hebras de fideos, método de fabricación, zona de producción y forma del producto en el mercado. De acuerdo a su forma o anchura existen tres tipos de fideos: fideos de almidón delgados, fideos de almidón de espesor y fideos de almidón planos (tiras anchas).

Los fideos de almidón delgados son los más comunes ya que son fáciles de cocinar, aunque la textura o el tamaño de los mismos puede variar un poco de un área a otra, los estilos aún son reconocibles y la diferencia viene después de la cocción (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

2.4.6 Pastas libres en gluten

El desarrollo de pastas libres de gluten (PLG), no es un proceso sencillo, ya que es necesario crear una matriz uniforme y lo suficientemente cohesiva para soportar el proceso de cocción y conferir atributos de calidad para el producto final (Giménez *et al.*, 2013). En una matriz libre de gluten, el almidón contribuye sustancialmente a la estructura final y la calidad de PLG, a medida que se convierte en parte de una compleja matriz, debido a sus modificaciones tales como la gelatinización, retrogradación y dextrinación (modificación física, mediante la cual se rompen grandes cadenas de almidón en unidades más pequeñas), así como a las interacciones con otros componentes (almidón-proteína-lípido-polisacárido), que son promovidas por los procesos mecánicos y térmicos que intervienen durante la fabricación. Estas modificaciones permiten la formación de una red tridimensional continua de amilosa retrogradada y otras estructuras, como cristales complejos amilosa-lípido, que estabilizan la red (Mariotti *et al.*, 2011; Giménez *et al.*, 2013).

Mientras que las proteínas del gluten juegan un papel clave en las propiedades de pastas convencionales de sémola, el almidón es el componente determinante de pasta sin gluten sólo si puede volver a organizarse la estructura macromolecular de manera eficaz, dando una textura similar a la encontrada en los productos de sémola (Marti y Pagani, 2013). Básicamente, en las PLG, el papel del gluten podría ser sustituido por la elección de formulaciones adecuadas utilizando harinas tratadas con calor como los ingredientes clave, o mediante la adopción de procesos de pasta no convencionales para inducir nuevos reordenamientos de las macromoléculas de almidón.

2.4.7 Formulación de pastas libres en gluten (PLG)

Los ingredientes comunes para la elaboración de PLG son harina o almidón de maíz, arroz, papa u otros tubérculos, con la adición de proteínas, gomas y emulsionantes que pueden actuar parcialmente como sustitutos de gluten (Lazaridou *et al.*, 2007; Marti y Pagani, 2013). La diversidad de materias primas de PLG ayudara a aumentar la cantidad y calidad de los productos para celíacos. La formulación de estos productos requiere, en primer lugar, un conocimiento profundo de las propiedades de los componentes de las harinas y almidones libres en gluten. De este modo, los aditivos apropiados pueden ser seleccionados para promover una masa cohesiva en el producto (Marti y Pagani, 2013).

Es por ello que la mayoría de los productos libres de gluten extruidos que se encuentran en el mercado incluyen maíz y arroz como ingrediente principal debido a su abundancia, bajo costo y alta capacidad de expansión, así como por ser apto para personas con enfermedad celiaca, cabe mencionar que la diversidad de materias primas libres de gluten ayuda a incrementar la cantidad y calidad de productos para celíacos (Giménez *et al.*, 2013).

2.4.8 Propiedades de harinas de almidones libres en gluten

El almidón ideal para la elaboración de PLG debe tener una marcada tendencia a la retrogradación, esta propiedad por lo general se observa en los cereales y legumbres de alto contenido de amilosa, lo cual asegura un buen comportamiento de cocción en términos de textura y baja pérdida de compuestos solubles durante e incluso después de la cocción prolongada (Marti y Pagani, 2013).

Los primeros intentos explotados en esta dirección son algunas propiedades del almidón, y en particular, la retrogradación del mismo, debido a que esta propiedad es útil para dar rigidez a la pasta cocida, y para reducir la pegajosidad de la superficie y la pérdida de materiales solubles en el agua durante la cocción. Para tener una buena cantidad de almidón retrogradado en los productos, es necesario inducir la desorganización de almidón mediante tratamientos térmicos efectuados en condiciones específicas de humedad, seguido de la fase de enfriamiento durante la cual parte del almidón, principalmente de amilosa, puede crear

una red tridimensional mediante la vinculación de cadenas cortas de almidón por fuertes zonas de unión (Mariotti *et al.*, 2011).

La sustitución de gluten presenta un desafío tecnológico importante, ya que es una estructura esencial para la formulación de productos de alta calidad a base de cereales, por lo tanto, la producción de una mejor calidad de productos sin gluten es difícil. En los últimos años, están surgiendo varios enfoques para superar los problemas tecnológicos. El método más común es la búsqueda de ingredientes que tienen capacidad para imitar las propiedades de gluten en la producción de alimentos sin gluten (Yalcin y Basman, 2008a). Para resolver los problemas provocados por la ausencia de gluten en las masas se pueden utilizar almidones, emulsionantes, hidrocoloides y varios tratamientos tales como la gelatinización de las materias primas (Lai, 2001; Gallagher *et al.*, 2004). Sin embargo, estas materias primas carecen del gluten que proporciona la red esencial en productos panificados, por lo que pueden surgir algunos problemas durante el procesamiento de la masa (Gallagher *et al.*, 2004) y para solucionar este problema se les puede incorporar hidrocoloides tales como: goma guar, goma xántica, carragenanos, agar, goma de garrofin, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (Gujral *et al.*, 2003; Gujral y Rosell, 2004, Gujral *et al.*, 2004; Sivaramakrishnan *et al.*, 2004; McCarthy *et al.*, 2005).

2.4.9 Tecnología de procesamiento de pastas

El método de cocción por extrusión representa una tecnología alternativa que es adecuada para la fabricación de productos como PLG, ya que implica la unificación de los pasos previos a la gelatinización y la formación (Giménez *et al.*, 2013). Se ha convertido en un método de tratamiento popular para los alimentos a base de almidón y para pre-gelatinizados (Hong-Zhuo *et al.*, 2009), es una de las tecnologías más adecuadas para la fabricación de PLG, dicho proceso consiste en el uso de altas temperaturas durante tiempos relativamente cortos, y es utilizado comúnmente para la elaboración de varios productos alimenticios. Es preciso mencionar que para la manufactura de PLG el principal fenómeno asociado a la cocción por extrusión es usado y explotado mayoritariamente para la gelatinización del almidón (Marti y Pagani, 2013).

La extrusión prácticamente revolucionó a la industria de cereales a partir de los años sesenta, hoy en día la industria depende mucho de este proceso debido a que es eficiente y versátil. Se utiliza para manufacturar una gran gama de alimentos como cereales matinales, snacks, alimentos pre-cocidos para bebés, harinas pre-gelatinizadas, proteínas texturizadas entre otras. Es un proceso continuo, lo cual es una gran ventaja por su alta productividad, y eficiencia. Indudablemente, el proceso más popular y versátil es la extrusión termoplástica, donde la combinación de calor y esfuerzos mecánicos propician la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón, desnaturalización de proteínas, inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida de anaquel, destrucción de compuestos antinutricionales y la drástica o total eliminación de cuentas microbianas en el producto a la salida del extrusor. Los cambios en las propiedades del almidón y las proteínas resultan en la formación de un material plástico capaz de ser formado o reestructurado (Serna, 2013). Todo proceso de extrusión incluye la premezcla de ingredientes, los cuales son alimentados por medio de un sistema horizontal o vertical generalmente integrado a un sistema de premezclado o pre-acondicionado.

El flujo del material a través del extrusor depende principalmente de la tasa de alimentación, revoluciones por minuto (rpm) a que opera el tornillo, diseño de la rosca y diámetro de salida en el dado o matriz presentes en la salida del extrusor. El sistema de dado o matriz tiene como función principal formar el material plástico o cocido que corre a través del extrusor (Serna, 2013). Después de la cocción por extrusión, los fideos se mantiene a 4 °C para acelerar la retrogradación del almidón, lo que contribuye al desarrollo de la sensación de textura y sabor en la boca (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

2.4.10 Calidad y valor nutricional de las pastas sustituidas

La pasta es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína, originado por la deficiencia de aminoácidos esenciales como el caso de la lisina. Es un producto de consumo masivo, considerado además un alimento funcional por su bajo aporte de grasa, sodio e índice glicémico. Es un alimento con una excelente fuente de energía no solo por la cantidad que

aporta a la dieta sino porque se trata de carbohidratos complejos, como el almidón, que le otorgan una lenta absorción proporcionando niveles estables de glucosa en sangre (Jenkins *et al.*, 1987; Araya *et al.*, 2003).

Su calidad proteica mejora considerablemente cuando la pasta se cocina acompañada de otros alimentos como: huevo, legumbres, frutos secos, leche, carne, etc. y dan lugar a una mezcla con un perfil de aminoácidos adecuado; es decir, a proteínas de gran calidad, para un óptimo aprovechamiento metabólico por parte del organismo (Milatovic y Mondelli, 1991).

Hoy en día, el consumo de productos alimenticios fortificados se está convirtiendo en una nueva tendencia. En ese sentido, la pasta es un alimento de primera necesidad que puede ser enriquecido con ingredientes no tradicionales, siendo especialmente importantes los que contribuyen a mejorar los aminoácidos y ácidos grasos esenciales o que aumenten la fibra, vitaminas y minerales (Sloan, 2013; De la Peña *et al.*, 2014). La adición de diferentes materias primas durante la preparación de las masas para pastas implica cambios en los diferentes niveles del proceso de producción, pero trayendo consigo varios beneficios funcionales y de salud que están asociados con los diferentes compuestos nutricionales que poseen las harinas o almidones utilizados, algunos beneficios están asociados al consumo de almidón resistente, incluyendo sus efectos hipoglucemiantes, la prevención de cáncer colorrectal, la reducción de la formación de cálculos biliares, a reducir el colesterol en plasma y las concentraciones de triglicéridos, la inhibición de la acumulación de grasa y una vitamina mejorada y absorciones minerales (Roda, 2013; Birt *et al.*, 2013; Giuberti *et al.*, 2015).

El concepto de índice Glicémico (IG) fue introducido para clasificar los diferentes alimentos ricos en carbohidratos con respecto a su efecto sobre la glucemia después de las comidas. En consecuencia los alimentos se pueden clasificar en tres categorías; bajo ($IG < 50$), medio (55-69) y alto ($IG > 70$). Con respecto a lo anterior las pastas se encuentran dentro de los niveles de IG bajo, por tal motivo, existe un gran interés en la población en disminuir en la ingesta de productos de alto IG, y prefiriendo así el consumo de alimentos de bajo IG, ya que la ingesta de estos, promueven pequeña elevación de glucosa en sangre después de una comida, y así poder disminuir o prevenir el riesgo de la diabetes mellitus tipo 2, y puede ser beneficioso para la prevención y control de la obesidad y factores de riesgos metabólicos,

como enfermedades coronarias (Foster-Powell *et al.*, 2002; Brand-Miller *et al.*, 2009; Giuberti *et al.*, 2015).

2.5 Técnicas de microscopia aplicadas en los alimentos.

Mediante las técnicas de microscopia es posible observar componentes estructurales como células vegetales y paredes celulares, uniones de proteínas, redes poliméricas, cristales de diferentes tipos, gotas de aceites, entre otros (Aguilera, 2005; Ramos *et al.*, 2004). Actualmente, se dispone de una abundancia de equipos, métodos de microscopia y técnicas espectroscopias que permiten estudiar los cambios microestructurales y químicos ocurridos durante el procesamiento de biomateriales. Es posible emplear microscopios ópticos, confocal laser de barrido (CLSM), de fuerza atómica (AFM), electrónicos de barrido y transmisión (SEM y TEM), que en ciertas configuraciones poseen detectores espectroscópicos que potencian su capacidad analítica.

La microscopia electrónica ha sido la herramienta más utilizada para estudiar las características estructurales de los gránulos de almidón. Así como su arquitectura, en el nivel más alto de orden molecular, se ha investigado principalmente por microscopia electrónica de barrido (SEM) y microscopia electrónica de transmisión (TEM) (Barrera *et al.*, 2013). Así como también estas técnicas de microscopia son aplicadas en diferentes tipos de alimentos para conocer la estructura y la distribución principalmente de sus componentes, se han venido utilizando con mayor frecuencia como una herramienta que ayude a tener una mejor visualización y caracterización de los diferentes alimentos; como es el caso de la utilización de SEM para observar la microestructura de pastas elaboradas con arroz en las cuales se observó el relieve de las diferentes disposiciones de los gránulos de almidón dentro de estos productos, mostrando una matriz compacta y homogénea en algunas muestras de pastas, así como también observar detalles de la presencia de agregados en una matriz no homogénea (Marti y Pagani, 2013). De igual manera, se ha logrado observar la microestructura de pastas libres en gluten en las cuales se mostró una matriz de proteína distinta a la red de gluten, y sugiriendo que esto puede ser ocasionado por los diferentes contenidos de almidón, proteína y fibra en la harina utilizada, originando microestructuras de redes y aglomerados de proteínas incrustadas en gránulos de almidón (Fig. 3a y b) (Susana y Prabhasankar, 2013).

Mientras que en el trabajo de Fiorda *et al.*, (2013) encontraron que en pastas elaboradas con harina pre-gelatinizada de almidón y bagazo de yuca y harina de amaranto mostraron la presencia de grietas y porosidad en la red o matriz en sus pastas (Fig. 4a y b) debido probablemente al contenido de proteínas en sus harinas, lo que resulta en una pasta con limitada firmeza.

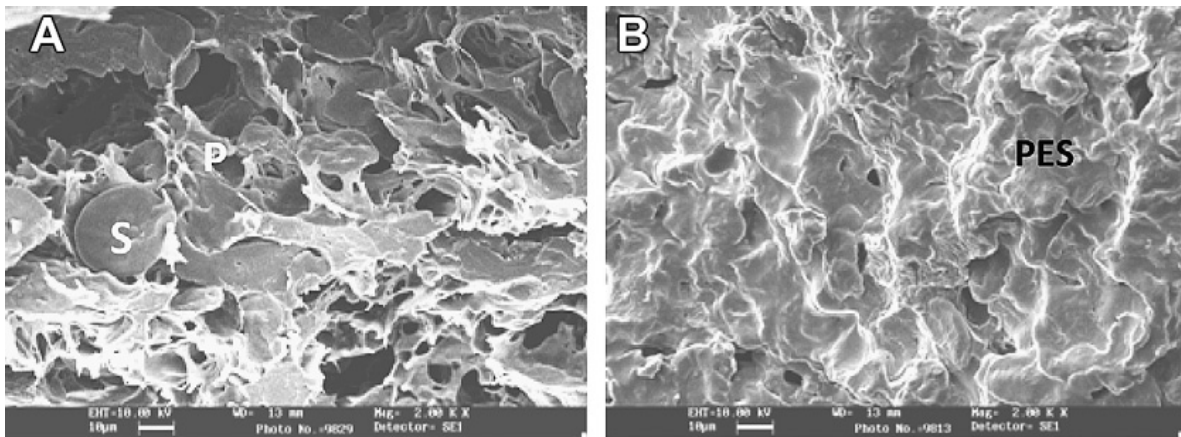


Figura 3. Imágenes de SEM de pastas libre en gluten (A y B). P: proteínas fibrosas; S: gránulos de almidón; PES: proteínas incrustadas en gránulos de almidón.

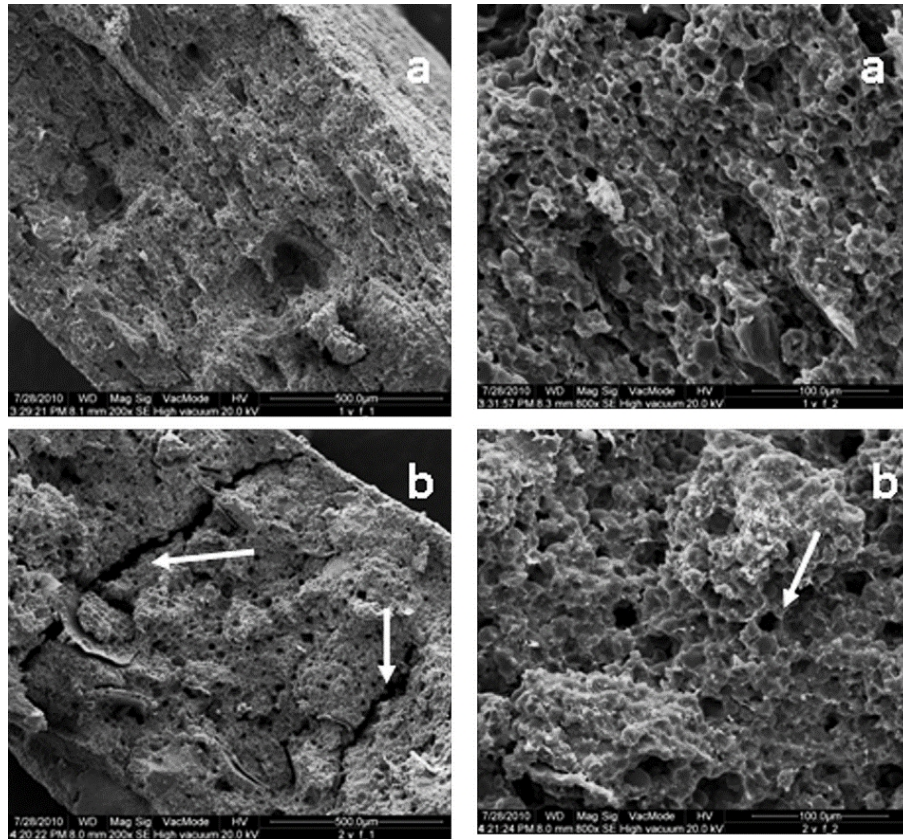


Figura 4. Microestructura de pastas libres en gluten refiriéndose a la presencia de poros y fracturas observadas por SEM (a y b).

También se ha reportado de aplicaciones limitadas de microscopía de fuerza atómica (AFM) a la investigación de productos alimentarios. Por lo general, las técnicas de microscopía sólo proporcionan información cualitativa de la microestructura de alimentos, sin embargo microscopía de fuerza atómica puede proporcionar parámetros cuantitativos de la rugosidad de la superficie a través de parámetros de altura (R), rugosidad media (R_a) y raíz cuadrada de rugosidad (R_q) (Barrera *et al.*, 2013). Debido a esto, las técnicas de procesamiento de imágenes se han desarrollado con el fin de caracterizar cuantitativamente superficies biológicas. Las imágenes de microscopía pudieran analizarse por medio de técnicas de procesamiento de imágenes; y de este modo se obtienen las características físicas (tamaño y morfología) y propiedades de textura (rugosidad y heterogeneidad). De descriptores de análisis de imágenes, tales como la dimensión fractal, que proporcionan un parámetro numérico de la morfología y la textura de los objetos con estructuras complejas e irregulares,

y los parámetros fractales se han aplicado para explicar los cambios en la estructura de los materiales de alimentos durante o como consecuencia de su procesamiento (Pérez-Nieto *et al.*, 2009; Perea-Flores *et al.*, 2012).

Por lo tanto, cuando las técnicas de microscopía y análisis de imágenes se usan juntos, se convierten en una herramienta aún más importante para evaluar la microestructura y los efectos inducidos por el estrés mecánico en biomateriales tales como gránulos de almidón, así como también en productos o alimentos que en su composición se encuentren estos gránulos como el caso de las pastas (Barrera *et al.*, 2013). A pesar de que varios estudios han utilizado el análisis de textura, pocos trabajos se han realizado en el área de alimentación por medio de análisis de la imagen de la textura de los materiales de los alimentos en niveles microscópicos, en particular los relacionados con almidón de trigo y los efectos causados por el daño físico. El control de la microestructura y estructura de los alimentos impacta en muchos atributos de los alimentos, entre ellos, la accesibilidad de nutrientes, estabilidad química y bioquímica de los alimentos, transferencia de masa, fenómenos de transporte, y la textura de los alimentos (Aguilera, 2005; Acosta-Domínguez *et al.*, 2016).

3 JUSTIFICACIÓN

La pasta es un alimento que ha tomado importancia en los últimos años gracias a que es fácil de almacenar y cocinar, así como sus cualidades nutricionales y su bajo índice glicémico. Siendo su consumo en México de 2.7 kg *per cápita* y ha ido incrementando en los últimos años. Tradicionalmente la pasta se elabora de sémola de trigo durum, conteniendo así las proteínas principales del gluten, pero teniendo deficiencia en aminoácidos esenciales.

Hoy en día, hay un progresivo aumento en la demanda del consumo de los alimentos que posean un mejor contenido nutricional, gracias a las nuevas tendencias de una alimentación saludable. Productos como los bajos o libres en gluten (LG), no solo son consumidos por personas que padecen la intolerancia al gluten o la enfermedad celiaca (EC), sino también están siendo consumidos por aquellas que desean excluir productos a base de gluten de su dieta debido a los beneficios que contraen hacia su salud, como lo son en el control de la enfermedad celiaca, así como disminuir los riesgos en otras enfermedades como la diabetes, obesidad, hipertensión, etcétera. Ya que estos productos de nueva generación están enriquecidos nutricionalmente y que proporcionan fuentes de fibra, minerales, antioxidantes y polifenoles, al estar elaborados con diversas fuentes de materia prima.

Sin embargo, existe un gran reto tecnológico en el procesamiento de estos nuevos productos, ya que las proteínas del gluten son esenciales para la formación de la red de gluten para la elaboración de gran variedad de productos a base de cereales, por tal motivo se está incursionando en la investigación de nuevas formulaciones de alimentos como es el caso de la pasta para obtener un producto con mejor valor nutricional y con propiedades fisicoquímicas y reológicas similar a las pastas de sémola de trigo.

Una de las cualidades del tubérculo de *Oxalis tuberosa* es que posee buenas características en su composición perfilándose como una alternativa al uso de su harina para la formulación de pastas sustituyendo parcial o totalmente el gluten, contribuyendo al desarrollo de nuevos productos aptos para la personas con EC y otras enfermedades, debido a su contenido de almidón, proteína, compuestos antioxidantes y aminoácidos esenciales que no se encuentran presentes en la sémola de trigo usada en la elaboración de las pastas.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto que tiene la harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* en las propiedades físicas, químicas, reológicas, microestructurales y sensoriales para la obtención de pastas sustituidas.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente las harinas pre-gelatinizadas de *Oxalis tuberosa*.
- Analizar las condiciones del proceso de extrusión para obtener harinas pre-gelatinizadas de *Oxalis tuberosa* para la elaboración de pastas sustituidas.
- Elaborar y caracterizar las propiedades nutricionales, reológicas, microestructurales y sensoriales de las pastas sustituidas con harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materia prima.

Los tubérculos de *Oxalis tuberosa* se adquirieron en el mercado local y la central de abastos en Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. La sémola de granos de trigo, sal (NaCl) (La Fina, México) y aceite de oliva (Great Value, España) se compraron en el mercado local, estos ingredientes se utilizaron para elaborar las pastas. Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC, WELLENCE Gluten Free, Food Grade, Alemania) fue proporcionado por Dow Wolff cellulose.

5.2 Obtención de harina de *Oxalis tuberosa*.

La harina del tubérculo se obtuvo de acuerdo a Cajamarca (2010), los tubérculos se cortaron en rodajas de 7 x 1.5 x 0.3 cm, se sometieron a secado a condiciones de 60°C en un horno de bandejas, hasta un contenido final de humedad de 11%. A continuación, las rebanadas secas se molieron (Krupps GX410011V, México) para obtener un tamaño de partícula aproximadamente de 70 micras, este proceso de obtención de la harina se llevó a cabo en las instalaciones del taller de granos y semillas del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), la harina se almacenó en bolsas herméticas de polietileno a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

5.2.1 Pre-gelatinización de la harina de *Oxalis tuberosa*.

Para la pre-gelatinización se utilizó un extrusor (Beutelspacher SB, México) de 1.5 HP y 220V de tornillo sencillo. Se acondicionó la harina nativa a 30% de humedad. Las temperaturas de la primera, segunda y tercera zona de calentamiento del extrusor fueron 55, 65 y 75°C respectivamente, la velocidad del tornillo 55 rpm con un dado circular de 3 mm. El desarrollo de este proceso se realizó en las instalaciones del Centro de Desarrollo de

Productos Bióticos, perteneciente al Instituto Politécnico Nacional. El producto extrudido fue molido y tamizado (Della Valle *et al.*, 1995; Bastos *et al.*, 2016).

5.3 Distribución de partícula por análisis de imagen.

El tamaño de las partículas es importante en su evaluación de la calidad, en el comportamiento de la harina en el proceso, e incluso en la apariencia y la aceptación del producto final. En este trabajo se evaluaron diferentes parámetros morfométricos. Se realizaron mediciones de factores de forma se realizaron por medio de microscopía óptica. Usando un microscopio óptico (Nikon Eclipse Ci-L, Japón), y un total de 50 imágenes fueron adquiridas con magnificaciones de 10X. Una cámara digital (Nikon, DS-2M-L3, Japón), se unió al microscopio, así como una unidad de control de la cámara (Nikon, DS-2M-L3, Japón). Las imágenes fueron capturadas en el color RGB y se almacenan en formato TIFF a 1600 x 1200 píxeles. El análisis de imágenes se realizó utilizando el software de análisis de imágenes (ImageJ 1.50b, National Institutes of Health, USA). Las siguientes características de tamaño y forma se determinaron a partir de las imágenes binarias (Perea-Flores *et al.*, 2011):

Área (A): Número de píxeles dentro de los límites de la forma.

Perímetro (P): la longitud del límite exterior de la selección.

Diámetro: la distancia entre dos puntos de la partícula.

Relación de aspecto (AR): Esta es una relación entre el diámetro mínimo y máximo. Un valor de 1.0 para objetos equidimensionales y si tiende a infinito para objetos extendidos.

$$A = \frac{M}{M} \frac{D}{D} \quad (1)$$

Factor de forma: cantidad sin dimensiones que describen numéricamente la forma de una partícula, independiente de su tamaño. Un objeto perfectamente redondo tendrá una redondez de 1,0, mientras que los objetos alargados, rectos cercanos a cero.

$$SF = \frac{4\pi \cdot \hat{a}r}{P^2} \quad (2)$$

5.4 Análisis químico proximal

Las harinas y producto final (pasta), fueron evaluadas mediante análisis químico proximal para determinar las características cuantitativas y cualitativas de las biomacromoléculas presentes en los mismos, utilizando los métodos oficiales recomendados por la AOAC (1990).

Humedad: Air oven method (AOAC 925.10, 1990), cenizas: Ashing method (AOAC 923.03, 1990), Grasa: Soxhlet method (AOAC 985.15, 1990), Fibra: Ceramic fiber method (AOAC 920.86, 1990), Proteínas: Kjeldahl method (Pearson 7.2, 1993) Carbohidratos asimilables: Diferencia de porcentajes, todos los ensayos se realizaron por triplicado.

5.5 Diseño experimental

Con el fin de establecer las proporciones de adición de la harina de *Oxalis tuberosa* para las formulaciones de masas y posterior elaboración de pastas, se planteó un diseño *Simplex* (optimal) que permitió conocer cuál es la mejor combinación en las proporciones de los componentes de una mezcla que otorgó el valor mínimo o máximo de una determinada respuesta (Larrosa, 2014). Este tipo de diseño permite evaluar la influencia, en las propiedades del producto final, de la variación de las proporciones de los ingredientes de una mezcla. Los diseños *Simplex* se han utilizado ampliamente para examinar el comportamiento de mezclas en alimentos (Fiorda *et al.*, 2013; Larrosa, 2014).

De acuerdo con los procedimientos estándar en la construcción de diseño experimental y el análisis, las variables independientes (% sémola de trigo (ST), % Harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* (HPO) y % Hidrocoloide (Hid.) se estandarizaron de modo que sus respectivos intervalos de variación fueron (0-100). Considerando que la mezcla está formada por tres componentes donde: X_1 , X_2 y X_3 representan el porcentaje de cada una de ellas, la suma de las tres fracciones debe ser igual a 100%, en consecuencia, deben cumplir la siguiente condición:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 100 \quad (3)$$

Posteriormente, las propiedades de interés se evalúan para cada mezcla del diseño y se modelan como función de sus componentes mediante la ecuación 4.

$$Y = a_1 + b_2 + cx_3 + dx_1x_2 + e_1x_3 + fx_2x_3 + gx_1x_2x_3 \quad (4)$$

Donde, X_1 , X_2 y X_3 son las proporciones de los componentes de la mezcla en cada experimento del diseño, a, \dots, g representan los coeficientes e Y es la respuesta o la propiedad.

El diseño fue obtenido utilizando el software Design-Expert (Stat-Ease, Inc., v.9, USA) consistió en un total de catorce formulaciones (Cuadro 9).

Cuadro 9. Estructura del diseño experimental *Simplex*.

Formulación	ST (%)	HPO (%)	Hid. (%)
F1	49.75	49.75	0.50
F2	0.00	98.67	1.33
F3	33.33	66.67	0.00
F4	0.00	98.67	1.33
F5	74.25	24.75	1.00
F6	65.33	32.67	2.00
F7	32.67	65.33	2.00
F8	0.00	100.00	0.00
F9	24.75	74.75	0.50
F10	66.67	33.33	0.00
F11	98.67	0.00	1.33
F12	74.3	24.8	1.0
F13	98.7	0.0	1.3
F14	100.0	0.0	0.0

F1-F14: Formulaciones; ST: sémola de trigo; HPO: harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*; Hid.: hidrocoloide.

5.6 Pruebas de textura para las masas

Diversas pruebas de textura fueron realizadas para los distintos tratamientos, tales como, análisis de perfil de textura (TPA), adhesividad y extensibilidad, estos atributos de textura se analizaron en un Texturómetro (Brookfield Texture Analyzer).

5.6.1 Análisis de perfil de textura

Para la determinación del análisis de perfil de textura (APT) 25 g de masa fueron comprimidos de su medida original 20% de deformación después de un reposo de 15 min con una sonda de acero inoxidable de 36 mm de diámetro (TA-AACC36) en un texturómetro (CT3 Brookfield Texture Analyzer), equipado con una celda de carga de 4.5 Kg, una velocidad constante de 0.5 mm/s y un tiempo de reposo de 5s entre las dos comprensiones, obteniéndose así, los parámetros de dureza, cohesividad, adhesividad y elasticidad de las masas (Pérez, 2012; Totosaus, López y Güemes-Vera, 2013).

5.6.2 Extensibilidad de masas

La extensibilidad de la masa fue determinada por la prueba de extensibilidad Kieffer acoplado el aditamento *Kieffer dough and gluten extensibility rig* al texturómetro (CT3 Brookfield Texture Analyzer). Para esta prueba se tomaron 9.73g de la mezcla obtenida de cada formulación del diseño experimental (Cuadro 9) y 0.27g de sal (NaCl), se amasaron con aproximadamente entre 8 - 9 mL de agua destilada, después se colocó en una prensa por un periodo de 45 min, la masa fue colocada entre dos placas del *Kieffer rig* y elongada mediante un gancho a velocidad constante de 0.5mm/s hasta la ruptura (AACC 54-10, 2000). Para las curvas de fuerza-distancia, los parámetros de extensibilidad obtenidos son: extensibilidad, la distancia hasta la ruptura y resistencia máxima, fuerza máxima detectada como indicador de resistencia de la masas (Güemes *et al.*, 2012; Totosaus *et al.*, 2013).

5.7 Elaboración de pastas

Para la elaboración de las pastas, se prepararon las masas seleccionadas con las mejores formulaciones del diseño experimental (Cuadro 9), agregando agua para formar una masa homogénea, la cual estuvo en reposo por 15 min transcurrido este tiempo se procedió a la laminación y cortado, usando una maquina cortadora de tallarines (Atlas, modelo 150 mm, Deluxe, Marcato, Italia), una vez obtenidos la pasta fueron colocados en papel encerado para secarlos a temperatura ambiente (25 ± 1 °C) por 24 h (Fiorda *et al.*, 2013).

5.8 Evaluación de calidad de pastas

Una vez obtenidas las pastas fueron realizadas las distintas pruebas para la evaluación de calidad de las mismas, tales como: calidad de cocción de pastas, determinación de color, prueba de extensibilidad, análisis de microestructura y finalmente un análisis sensorial.

5.8.1 Pérdidas por cocción

Las pérdidas por cocción, que es la cantidad de sustancia sólida perdida en el agua de cocción, fueron realizadas de acuerdo al método aprobado AACC 66-50 (2000). 10 g de la pasta cocinados en el tiempo óptimo de cocción (considerado cuando el centro de la pasta este completamente hidratado; (Susanna y Prabhasankar, 2013; Islas- Rubio *et al.*, 2014) en 300 mL de agua destilada hirviendo. Se recogió el agua de cocción en un matraz Erlenmeyer, y fue colocado en un horno a 105°C, hasta su evaporación y alcanzar un peso constante. El residuo fue pesado y reportado como un porcentaje del material de partida, estos análisis se realizaron por triplicado.

5.8.2 Peso de cocción

El peso de cocción se determinó de acuerdo con el método aprobado AACC 66-50 (2000). 10 g de la pasta que fueron cocinados en el tiempo óptimo (sección 5.8.1) en 300 mL de agua destilada hirviendo. La pasta cocida y escurrida durante 2 min fue pesada y reportada en gramos.

5.8.3 Absorción de agua

La absorción de agua fue determinada de acuerdo con el método aprobado AACC 66-50 (2000). 10 g de la pasta fueron cocinados en el tiempo óptimo (sección 5.8.1) en 300 mL de agua destilada hirviendo. La pasta cocida se lavó con 50 mL de agua destilada y escurrida durante 2 min posteriormente fue pesada y reportada como porcentaje de la absorción de agua usando la siguiente formula como:

$$A \quad \text{ón d a} \quad = \frac{p \quad d \quad p \quad c \quad - \quad p \quad d \quad p \quad c}{p \quad d \quad p \quad c} \times 100 \quad (5)$$

5.8.4 Determinación de color en pastas

El color en las pastas es un factor importante para la aceptación o rechazo de las mismas. En el presente estudio, se utilizó un colorímetro portátil (Minolta CM-508D, Osaka, Japón) para determinar el color de las pastas en los parámetros de Luminosidad (L*), a* y b*, valores de L* se encuentran de negro a blanco (0 - 100), valores de a* miden el color rojo o valores b* de color amarillo cuando estos parámetros son positivos (Mirhosseini *et al.*, 2015).

5.8.5 Extensibilidad en pastas

Para la realización de esta prueba se utilizaron las pastas elaboradas con las formulaciones determinadas anteriormente (Cuadro 9), sometiendo las pastas previamente a un proceso de cocción durante 3 min. La pasta cocida (una sola hebra) fue colocada en el aditamento

“Kieffer dough and gluten extensibility rig”. Posteriormente la sonda sujeto la hebra y empezó a extenderla hasta que la pasta se rompió (Totosaus *et al.*, 2013).

5.9 Caracterización de la pasta por microscopia

El análisis de la microestructura de las pastas fue realizado en las instalaciones del centro de nanociencias y micro y nanotecnologías del Instituto Politécnico Nacional.

5.9.1 Microscopia de luz

Con el fin de evaluar la calidad estructural de la superficie de la pasta, los tratamientos seleccionados fueron observados en un microscopio óptico (Olympus, BX51) con magnificaciones de 4X. Las imágenes fueron capturadas en el color RGB y se almacenaron en formato TIFF a 1280x1024 píxeles (Perea-Flores *et al.*, 2011).

5.9.2 Microscopia de fuerza atómica (AFM)

La topografía de la superficie de las pastas se analizó empleando un AFM (Bioscope Catalizador Bruker, EE.UU.) montada sobre un microscopio óptico (Axio Observador Z1, Zeiss, Alemania), aplicando el modo de descarga (tapping), (Barrera *et al.*, 2013). Las pastas seleccionadas fueron analizadas (Freeware NanoScope v 1.20, Veeco, EE.UU.), obteniendo las diferentes tipos de imágenes: altura (topográficos 2D, 3D), topografía de la altura de las imágenes (2D a 3D) que dan información acerca de las medidas laterales (xy) y de la altura (z), pero las imágenes obtenidas en realidad no reflejan la forma del objeto analizado.

Los valores de Ra y Rq (parámetros de rugosidad) fueron obtenidos a partir de imágenes topográficas digitalizadas a las 10 μm x 10 μm , ya que esta zona de exploración fue la principal en la recopilación de datos sin la interferencia del fondo. Ra y Rq son valores que describen la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones de altura de la superficie, medida desde el plano medio y el medio de la raíz media cuadrada de las

desviaciones de altura tomadas del plano medio de los datos de imagen, respectivamente. Todas las imágenes fueron obtenidas en color RGB de tamaño 512 × 512 píxeles en formato JPG.

5.10 Evaluación sensorial

La prueba sensorial fue realizada, aplicando una prueba afectiva, la cual se define como aquellas en las que el juez expresa su reacción subjetiva ante un producto, indicando si le gusta o disgusta (Anzaldúa, 2005). Se desarrolló por medio de la aplicación de una prueba de aceptación con 37 jueces consumidores, evaluando la pasta control (F14), una pasta considerada libre en gluten (F2) y una pasta sustituida parcialmente (F6), las cuales fueron elegidas con base a resultados obtenidos en sus propiedades reológicas y fisicoquímicas.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Instituto de Ciencias Agropecuarias
 Maestría en Ciencia de los Alimentos



Nombre: _____ Edad: _____

Marque con una X en el lugar que indique su opinión sobre cada muestra, sin compararlas entre sí. No olvide enjuagar su boca antes y entre cada muestra.

Escala	112	203	389
Me gusta mucho	_____	_____	_____
Me gusta	_____	_____	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____	_____	_____
Me disgusta	_____	_____	_____
Me disgusta mucho	_____	_____	_____

Comentarios: _____

Figura 5. Formato de evaluación sensorial

5.11 Análisis estadístico

Los datos obtenidos tanto de masas y pastas fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA), las medias se compararon mediante la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0.05, para determinar las diferencias significativas entre las formulaciones. Fue utilizado el programa estadístico SAS v. 8.0 (SAS Institute, Cary, Carolina del Norte, USA) (Islas-Rubio *et al.*, 2014).

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis químico proximal de la harina nativa y pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la composición química proximal de las harinas se observó que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ellas (Cuadro 10). Se encontró un decremento en los parámetros de humedad, cenizas, proteínas, extracto etéreo y fibra de la harina nativa con respecto a la harina pre-gelatinizada, mientras que en los carbohidratos asimilables hay un incremento en la concentración. Puede observarse que el contenido de proteína de la harina nativa fue de 12.59%, extracto etéreo 0.95%, fibra 2.19% y carbohidratos en un 70.60%, mientras que en la harina pre-gelatinizada hay disminución en la concentración de proteína mostrando un valor de 6.03%, extracto etéreo 0.19%, fibra 1.66% y el contenido de carbohidratos que aumento a un valor de 85.15%. Al respecto, Cajamarca (2010) reportó valores para *Oxalis tuberosa* que fue sometida a un tratamiento de deshidratación a 80°C donde obtuvo valores de 8.6% de proteína, 6.8% de fibra y 82.8% de carbohidratos. Se ha mencionado que la extrusión implica alto calor, presiones y fuerzas de corte, que causan cambios claros en todas las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas, incluyendo los compuestos polifenólicos y su actividad antioxidante, así como la disminución de la grasa cruda, proteína cruda, y reducción del contenido de azúcar se produce a través de transformaciones químicas y estructurales, tales como la gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, y formación de complejos entre la amilosa y los lípidos durante el proceso de extrusión. (Hagenimana *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2007; Brennan *et al.*, 2011; Sarawong *et al.*, 2014; Masatcioglu *et al.*, 2014; Gui y Ryu 2014).

Por otro lado, el proceso de extrusión combina la aplicación de alta temperatura y baja humedad, lo que favorece el desarrollo de productos de reacción de maillard, por lo tanto, la calidad nutricional de las proteínas podría ser disminuido debido a la perdida de lisina y otros aminoácidos (Masatcioglu *et al.*, 2014).

Cuadro 10. Análisis químico proximal en harina nativa y pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

Harina de <i>Oxalis tuberosa</i> Nativa	Harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pre-gelatinizada
Humedad %	
10.37 ^a ±0.56	3.75 ^b ±0.12
Ceniza %	
3.44 ^a ±0.04	3.21 ^b ±0.08
Proteínas %	
12.59 ^a ±0.33	6.03 ^b ±0.15
Extracto etéreo %	
0.95 ^a ±0.13	0.19 ^b ±0.01
Fibra %	
2.19 ^a ±0.04	1.66 ^b ±0.21
Carbohidratos asimilables %	
70.60 ^a ±0.26	85.15 ^b ±0.26

^{a, b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

6.2 Distribución de tamaño de partícula de harina nativa y pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

Una de las propiedades más esenciales de los atributos de calidad de la harina es el tamaño de partícula (Barbosa-Cánovas y Yan 2003). Por lo tanto, en este estudio los parámetros morfométricos fueron evaluados por microscopía óptica y análisis de imágenes de la harina nativa y pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* (Fig. 6a y b).

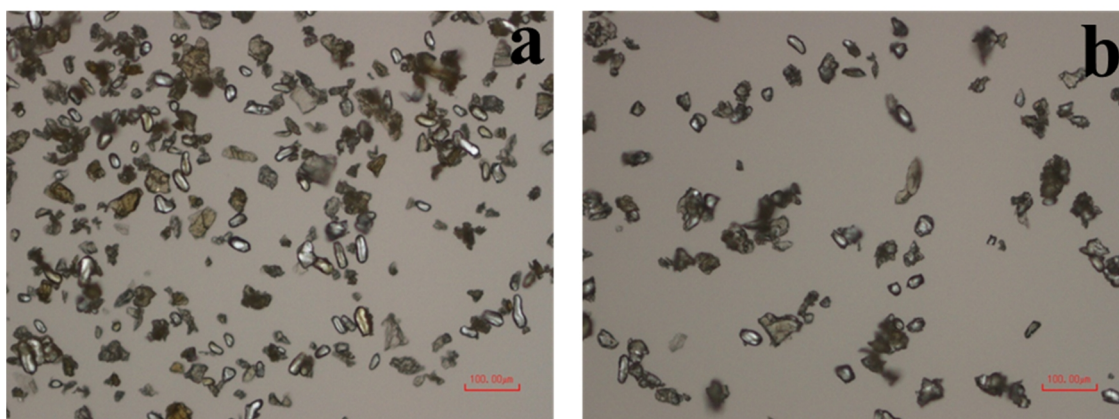


Figura 6. Imágenes de microscopía óptica de harina nativa de *Oxalis tuberosa* (a) y harina pre-gelatinizada (b) obtenidas a magnificaciones de 10X.

La distribución de tamaño de partículas los valores obtenidos de harina nativa (Fig. 7a) con respecto al área de gránulos de almidón fueron de 200 – 1300 μm^2 y para las partículas de aglomerados considerados de proteína-fibra tuvieron de 200 – 1900 μm^2 (Fig. 7b), mientras que el diámetro del almidón presentó un valor de 2 – 48 μm (Fig. 8a) y para las partículas de aglomerados de 2 – 35 μm (Fig. 8b). De igual manera, se analizaron las partículas de la harina pre-gelatinizada (Fig. 9a) que mostró área de los gránulos de almidón entre 400 a 1000 μm^2 , mientras que para valores de aglomerados de proteína-fibra estuvo en un intervalo de 110 - 2500 μm^2 (Fig. 9b). Con respecto al diámetro del almidón presentó un rango de 5-45 μm (Fig. 10a), y las partículas proteína-fibra oscilaron entre 5-20 y 25-70 μm (Fig. 10b), los valores de los parámetros se encuentran dentro de los intervalos especificados para las partículas de harina de trigo, en la actualidad, las harinas de trigo se pueden clasificar en tres fracciones principales en función de sus diferentes tamaños: (a) células completas del endospermo, segmentos de las células del endospermo, y cúmulos de gránulos de almidón y proteínas (> 35 μm de diámetro); (b) los gránulos de almidón de tamaño grande y medio, con un poco de proteína unida (15-35 μm de diámetro); y (c) pequeños chips de proteínas y almidón granulado separado (<15 μm de diámetro), por lo anterior la harina obtenida del tubérculo se encuentra dentro de las especificaciones (Barbosa-Cánovas y Yan 2003;. Protonotariou *et al*, 2014).

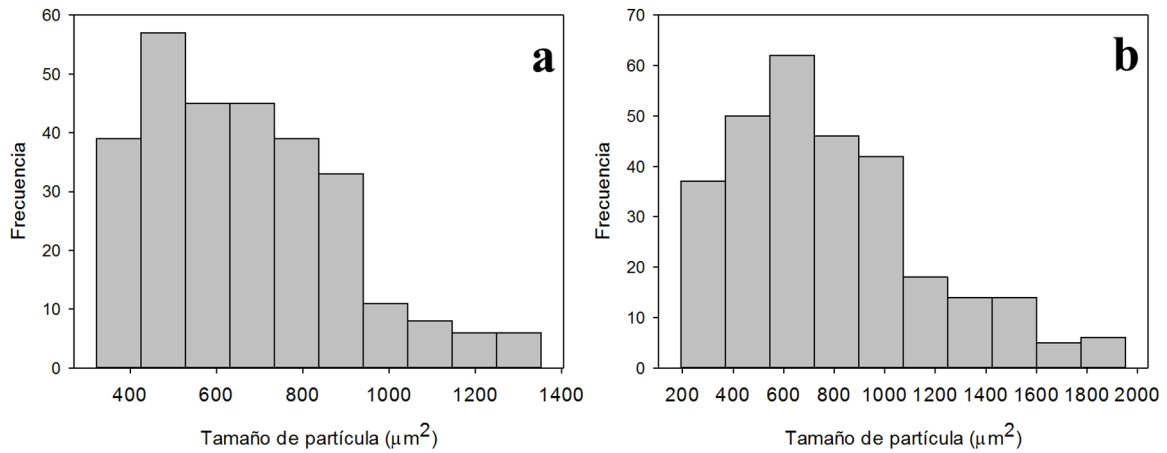


Figura 7. Área de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina nativa de *Oxalis tuberosa*.

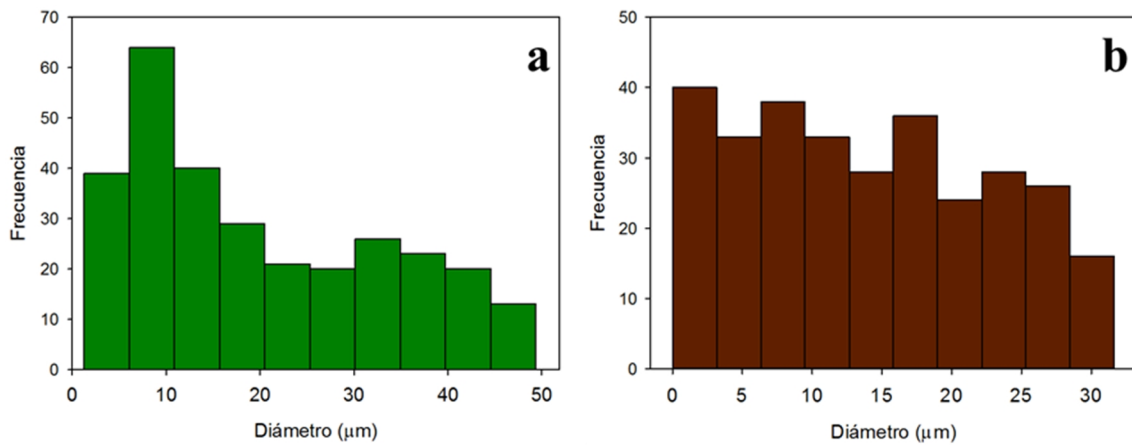


Figura 8. Diámetro de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina nativa de *Oxalis tuberosa*.

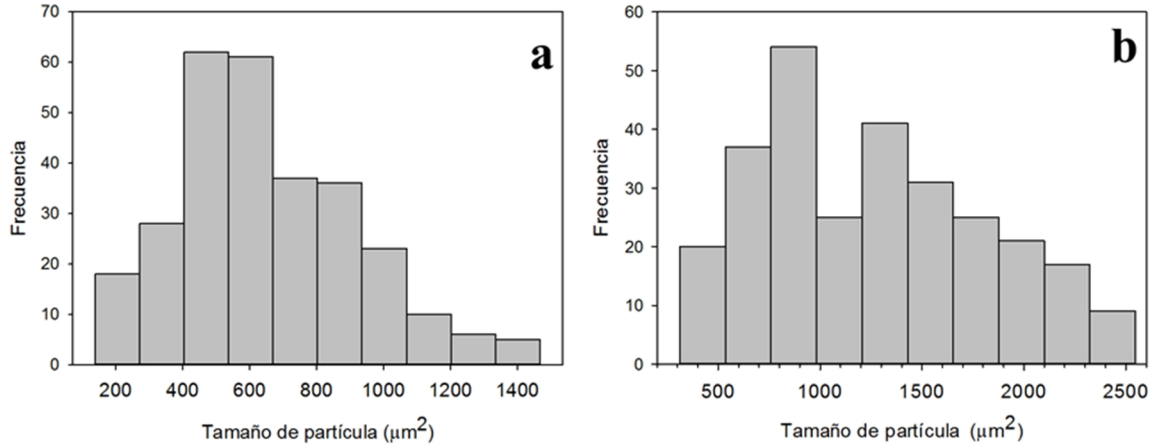


Figura 9. Área de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

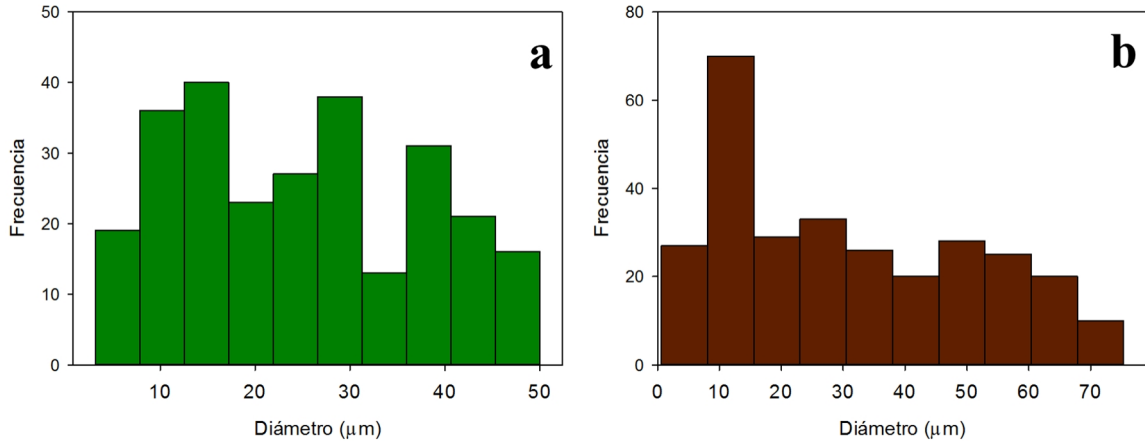


Figura 10. Diámetro de las partículas de almidón (a) y aglomerados de proteína-fibra (b) de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

La relación de aspecto y el factor de forma tanto en la harina nativa y pre-gelatinizada (Cuadros 11 y 12) indican que los gránulos de almidón tenían una morfología ovalada o elipsoidal y alargada al presentar un aspecto de forma de 0.61 – 0.76, ya que si fueran de forma redonda los valores deberían estar muy cercanos a 1 (Perea-Flores *et al.*, 2011). Los valores anteriores de las partículas de la harina de *Oxalis tuberosa* (Fig. 8a y 10a) (Cuadros 11 y 12) son consistentes con los reportado por Hernández-Lauzardo *et al.*, (2004) quienes observaron que los valores del tamaño de los gránulos de almidón de *Oxalis tuberosa* es de 25-50 µm de diámetro, con forma ovalada y elíptica. En otros trabajos, como los de Hoover, (2001) y Yusuph *et al.*, (2003) mencionan que gránulos de almidón de tubérculos como *Solanum tuberosum* se encontraron como ovalados y esféricos con intervalos de 15-110 µm

de diámetro, pero más típicamente desde 20 hasta 40 μm , en el caso de *Ipomoea batata* mencionan que las formas de los gránulos pueden ser; redondos, ovales y poligonales con diámetros de 2 - 42 μm .

La distribución del tamaño de partícula en los procesos de elaboración de harinas es muy importante para la fabricación de productos libres de gluten y el factor de calidad del mismo (Kim y Shin, 2014). Por lo tanto, es importante tener en cuenta que los parámetros obtenidos a partir de los resultados analizados en este estudio son partículas dentro de las dimensiones ya reportadas, lo que demuestra que tenemos calidad adecuada para el uso de la harina de *Oxalis tuberosa* en la producción de pasta con sustitución parcial o total de sémola de trigo.

Cuadro 11. Relación de aspecto (A.R.) y aspecto de forma de partículas de harina nativa *Oxalis tuberosa*.

Partícula	A. R.	Aspecto de forma
Almidón	1.88	0.74
Aglomerado proteína-fibra	1.65	0.65

Cuadro 12. Relación de aspecto (A.R.) y aspecto de forma de partículas de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

Partícula	A. R.	Aspecto de forma
Almidón	1.69	0.76
Aglomerado proteína-fibra	1.64	0.61

6.3 Propiedades de textura en masas para pastas.

Los ingredientes comunes en la elaboración de pastas sustituidas o libres en gluten son la harina y/o almidón de maíz, arroz, papa u otros tubérculos, con la adición de proteínas, gomas y emulsionantes que pueden actuar parcialmente como sustitutos de gluten. Desde un punto

de vista tecnológico, el uso de harinas permite utilizar la presencia de interacciones entre el almidón y otros componentes, tales como proteínas y lípidos (Marti y Pagani, 2013).

Las masas se elaboraron de acuerdo con el diseño experimental (Cuadro 9), con el fin de evaluar la dureza, adhesividad, cohesión, elasticidad y extensibilidad, estos resultados se muestran en el Cuadro 13, donde se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para la dureza de las formulaciones en comparación con la masa control (F14) que presentó un valor de 0.34 ± 0.017 kg, este parámetro aumentó alrededor del 300% en F6 y F7 con valores de 1.02 ± 0.010 kg y 1.02 ± 0.022 kg, respectivamente, formulaciones que contenían la concentración más alta de Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) consideradas unas masas adicionadas por su formulación. Para el caso de una masa libre en gluten (F2) la dureza fue de 0.54 ± 0.019 kg. En estudios similares, Mirhosseini *et al.*, (2015) reportaron que la adición de harina de semillas de durian a la formulación de pasta libre en gluten llevó a aumentar la dureza de las muestras cocidas y sin cocer. Sugiriendo que estas diferencias son causadas por el contenido de fibra de la harina utilizada, lo que evitaba la formación de la red de almidón e influía negativamente en la dureza y calidad de cocción de la pasta (Padalino *et al.*, 2013). Al respecto, para el parámetro de adhesividad se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las formulaciones comparadas con el control (F14), con menor composición adhesiva (2.11 ± 0.420 mJ), mientras que los valores de F2 y F13 fueron cercanos al control, con valores de $8,44 \pm 0.475$ y 9.31 ± 0.766 mJ, respectivamente. Por lo anterior, Padalino *et al.*, (2013) quienes demostraron que la adición de hidrocoloides para la formulación de espaguetis sin gluten tendió a disminuir la adhesividad del producto final. Además, el grado de adhesividad depende de la cantidad y calidad del almidón y su condición de gelatinización (Sozer *et al.*, 2007).

En el parámetro de cohesividad se mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) de las formulaciones con respecto al control (F14) con un valor 0.43 ± 0.009 , como efecto de la adición de harina de *Oxalis tuberosa* hay disminución de este parámetro con respecto a (F14), excepto que la F8 fue observado un incremento así como el valor más alto de cohesividad con 0.83 ± 0.022 , caso similar, ocurre en un estudio realizado por Zouari *et al.*, (2016) donde reportan que en masas con incorporación de harina de cascara de sésamo la cohesividad disminuyó de forma significativa a un nivel de sustitución del 40% de harina de trigo.

Mientras que, de Collar *et al.*, (2007), menciona que el enriquecimiento de masa con fibras afecta a las propiedades mecánicas como aumento de la dureza y disminución de la cohesión de la masa.

De igual manera, en el Cuadro 13 se muestra el parámetro de elasticidad encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$) y los mejores resultados fueron en la F2 y F14 (0.72 ± 0.049 y 0.79 ± 0.164 mm, respectivamente), mientras que el valor más bajo se presentó en la F3 con 0.26 ± 0.058 mm. La extensibilidad mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en todas las formulaciones (Cuadro 14), obteniendo los valores más altos en el control F14, F12, F5 y F6, y los más bajos en las masas con sustitución total de sémola de trigo (F2 y F8), este comportamiento de la masa a disminuir tanto en el parámetro de elasticidad y extensibilidad puede ser debido al tamaño de partícula, cantidad de almidón dañado como pudiera existir como resultado de la trituración, contenido de proteínas, así como cambios en las uniones que conducen a diferencias en la estructura de la masa debido a la hidratación del almidón, como lo reportado por Witzak *et al.*, (2012) quienes estudiaron los efectos de la sustitución de sémola de trigo en pastas. Sin embargo, estos efectos podrían reducirse mediante la adición de hidrocoloides y gomas de polisacáridos en la formulación de pastas sin gluten para mejorar la calidad de cocción, uniformidad y consistencia, tasa de retención de agua, capacidad de rehidratación, propiedades texturales y atributos sensoriales para encontrar características similares de las pastas elaboradas con sémola (Marti y Pagani, 2013; Padalino *et al.*, 2013).

Un comportamiento similar mostraron las masas estudiadas en este trabajo con la adición de HPMC (0,5-2%), además, este ingrediente mejora las características de la masa de sustitución parcial o total, pero en el caso de la concentración más alta del mismo las características de textura no fueron las óptimas, por lo que la concentración óptima de HPMC fue de entre 1 a 1,3%.

Cuadro 13. Análisis del perfil de textura (APT) en masas para formulaciones de pastas.

Formulación	Dureza (kg)	Adhesividad (mJ)	Cohesividad (-)	Elasticidad (mm)
F1	0.83 ^{bcd} ±0.023	15.16 ^{abcd} ±0.948	0.24 ^h ±0.003	0.28 ^{ef} ±0.015
F2	0.54 ^e ±0.019	8.44 ^f ±0.475	0.33 ^c ±0.003	0.72 ^a ±0.049
F3	0.92 ^{ab} ±0.049	16.67 ^{abc} ±3.227	0.21 ⁱ ±0.002	0.26 ^f ±0.058
F4	0.76 ^{cd} ±0.012	13.00 ^{bcdef} ±0.739	0.24 ^h ±0.005	0.70 ^{ab} ±0.057
F5	0.93 ^{ab} ±0.022	13.19 ^{abcdef} ±0.088	0.27 ^{def} ±0.012	0.34 ^{def} ±0.017
F6	1.02 ^a ±0.010	12.11 ^{dcef} ±2.440	0.28 ^{de} ±0.004	0.37 ^{def} ±0.026
F7	1.02 ^a ±0.022	14.01 ^{abcde} ±2.157	0.24 ^{gh} ±0.002	0.31 ^{ef} ±0.005
F8	0.76 ^d ±0.007	17.40 ^{ab} ±2.385	0.83 ⁱ ±0.009	0.37 ^{def} ±0.020
F9	0.81 ^{bcd} ±0.044	10.82 ^{def} ±2.168	0.27 ^{ef} ±0.002	0.43 ^{cdef} ±0.043
F10	0.88 ^b ±0.025	17.88 ^a ±0.312	0.26 ^{fg} ±0.007	0.40 ^{def} ±0.062
F11	0.87 ^{bc} ±0.021	11.13 ^{def} ±0.733	0.32 ^c ±0.006	0.52 ^{bcd} ±0.015
F12	0.88 ^b ±0.031	12.99 ^{bcdef} ±1.217	0.28 ^d ±0.006	0.46 ^{cde} ±0.100
F13	0.75 ^d ±0.004	9.31 ^{ef} ±0.766	0.35 ^b ±0.006	0.60 ^{abc} ±0.040
F14	0.34 ^f ±0.017	2.11 ^g ±0.420	0.43 ^a ±0.009	0.79 ^a ±0.164

a, b, c, d, e, f, g, h, i Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística (P < 0.05) de acuerdo con la prueba de Tukey. F1-F14 Formulaciones de las masas para pastas de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9).

Cuadro 14. Extensibilidad de masas para la formulación de las pastas.

Formulación	Extensibilidad (mm)
F1	9.09 ^{abc} ± 0.23
F2	7.05 ^d ± 0.98
F3	8.92 ^{abc} ± 0.43
F4	8.12 ^{bcd} ± 0.62
F5	9.82 ^{ab} ± 0.46
F6	10.03 ^a ± 0.61
F7	9.06 ^{abc} ± 0.51
F8	7.30 ^{cd} ± 0.49
F9	8.96 ^{abc} ± 0.43
F10	9.80 ^{ab} ± 0.40
F11	9.00 ^{abc} ± 0.15
F12	9.87 ^{ab} ± 0.62
F13	9.65 ^{ab} ± 0.34
F14	9.99 ^a ± 0.64

a, b, c, d Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey. F1-F14 Formulaciones de las masas para pastas de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9).

6.4 Calidad en pastas.

La evaluación de la calidad de las pastas se llevó a cabo por medio del análisis de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*), peso de pasta cocida, perdidas por cocción, absorción de agua y textura.

6.4.1 Color en pastas

La Figura 11 muestra imágenes digitales de pastas seleccionadas en las que se puede apreciar la apariencia de dichas pastas que contienen diferentes porcentajes de *Oxalis tuberosa* y sémola, así como hidrocoloide (Fig. 11A-J). Observando que el color más oscuro fue influido por la concentración de harina de *Oxalis tuberosa* (Fig. 11G y H), mientras que el color claro

se encontró en F14 (Fig. 11J), para un mejor análisis de este parámetro los valores se presentan en el Cuadro 15, donde se puede observar que las diferentes pastas con sustitución parcial o total de sémola de trigo y la formulación control (F14) mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de color en los términos de los valores L^* , a^* y b^* .

El parámetro L^* disminuye con el aumento de la adición de *Oxalis tuberosa*, sin embargo, este comportamiento se ve afectada probablemente por la adición de hidrocoloide cuyo color blanquecino influye en el valor de brillo, como se muestra en la pasta F2 con el mayor contenido de hidrocoloide (1,3%), contrario a esto, F10 que no contiene hidrocoloide muestra un valor más bajo L^* . Por otra parte, la disminución en el valor de a^* fue probablemente por la adición de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*. Además, los valores más altos de b^* pueden estar asociados con el contenido de harina de *Oxalis tuberosa*, encontrándose que hay mayor tendencia a estar situadas en el cuadrante amarillo, ya que esto es una característica física importante en el color de las pastas. En las pastas valores de L^* y b^* se consideran más importantes como los atributos de calidad en niveles superiores (Islas-Rubio *et al.* 2014).

El color diferente del en términos de L^* , a^* y b^* entre pastas es apenas perceptible a simple vista pero en la prueba de color puede ser posible la detección de esos cambios (Hernández-Hernández *et al.*, 2016). Por otra parte, se ha reportado de que estas diferencias de color pueden deberse a la cantidad y calidad de los pigmentos presentes en las materias primas utilizadas en las diversas formulaciones (Rodríguez-Ambriz *et al.*, 2007; Fiorda *et al.*, 2013; Mirhosseini *et al.*, 2015).

La principal inquietud sobre la *Oxalis tuberosa* que contienen las pastas de este estudio es el color más oscuro en comparación con F14, sin embargo, se ha mencionado que algunos consumidores pueden aceptar pastas oscuras si son de un mejor valor nutritivo, tales como los polifenoles y el contenido antioxidante en *Oxalis tuberosa* (Han *et al.*, 2006).

Cuadro 15. Evaluación de los parámetros de color en pastas.

Formulación	L*	a*	b*
F1	48.51 ^d ±0.55	7.28 ^{ab} ±0.91	17.42 ^{abc} ±4.48
F2	54.21 ^c ±0.42	6.70 ^{ab} ±0.25	25.31 ^a ±1.53
F3	49.61 ^d ±0.02	6.25 ^{ab} ±0.11	22.27 ^{ab} ±0.75
F5	49.48 ^d ±0.54	8.47 ^{ab} ±1.66	15.03 ^{bcd} ±0.65
F6	45.15 ^d ±0.81	8.27 ^{ab} ±0.16	11.55 ^{cde} ±0.19
F7	48.03 ^d ±0.73	5.64 ^b ±0.15	23.00 ^a ±1.92
F8	35.76 ^e ±0.24	9.77 ^a ±0.80	6.86 ^e ±2.80
F9	35.94 ^e ±1.87	8.27 ^{ab} ±0.25	8.44 ^{de} ±1.07
F10	47.35 ^d ±2.41	7.76 ^{ab} ±2.33	6.92 ^e ±2.56
F11	66.91 ^b ±1.69	0.94 ^c ±0.15	13.18 ^{cde} ±1.03
F14	74.21 ^a ±0.64	0.51 ^c ±0.01	12.99 ^{cde} ±0.66

a, b, c, d, e Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey. F1-F14 Formulaciones de pastas de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9). L*: Luminosidad (0 - 100), a*: color verde⁽⁻⁾ – rojo⁽⁺⁾, color b* azul⁽⁻⁾- amarillo⁽⁺⁾



Figura 11. Imágenes digitales de las pastas seleccionadas para visualizar el color (A-J). F1=A; F2=B; F3=C; F5=D; F6=E; F7=F; F8=G; F9=H; F10=I y F14=J, formulaciones de acuerdo al diseño experimental de las mezclas (Cuadro 9).

6.4.2 Calidad de cocción en pastas

Las propiedades de cocción de las muestras de pastas se presentan en el Cuadro 16 que muestra los valores obtenidos tanto en peso de pasta cocida, perdidas por cocción y absorción de agua, de manera general se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre las formulaciones con respecto al control (F14).

Se encontró que el peso de pasta cocida de F2 que tiene el mayor contenido de harina de *Oxalis tuberosa* y con hidrocoloide considerada una pasta libre en gluten por la sustitución total de sémola de trigo, dando un valor de 29.80 ± 0.60 g fue significativamente más alto que el control, mientras que en pastas como F3-F5 no hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellas, pero si con respecto al control. De igual manera se observó que la pasta F8 fue la que mostró el valor más bajo (8.20 ± 0.19 g). Flores-Silva *et al.*, (2014) reportaron valores bajos en peso de cocción de spaghetti atribuyéndolo al contenido inferior de almidón y un mayor contenido de proteína en harina de garbanzo, también mencionan que esta prueba de peso de cocción no puede ser una prueba sensible para la determinación de parámetros de calidad de cocción de spaghetti y otros productos de pasta.

Las pérdidas por cocción es uno de los parámetros más importantes que afectan a la aceptación del consumidor en productos de pasta, una pasta comercial elaborada con trigo durum es alrededor de 4.5% en pérdidas por cocción considerando el 12% como el límite superior máximo aceptable para una pasta de buena calidad propiamente elaborada de sémola de trigo (Hoseney, 1999; Fu, 2008; Padalino *et al.*, 2013). En el presente estudio, con el aumento del porcentaje de harina pre-gelatinizado de *Oxalis tuberosa*, se obtuvo un aumento de los valores de pérdidas por cocción como el de F8 con altas perdidas con valor de $39.77 \pm 0.64\%$ en comparación con el control F14 ($5.11 \pm 0.13\%$), mientras que en las formulaciones F5, F6 y F10 mostraron valores aceptables para una pasta de buena calidad con valores de $6.80 \pm 0.06\%$, $7.22 \pm 0.32\%$ y $9.47 \pm 0.50\%$, respectivamente, estos valores son consistentes con los reportados por Islas-Rubio *et al.*, (2014), quienes desarrollaron pastas sustituidas con harina de amaranto, donde el aumento de la sustitución de la sémola provocó un aumento en la pérdida de cocción y una reducción en la ganancia de peso en pasta, también recomienda la adición de ingredientes tales como destilados de

monoglicéridos y huevo en polvo para mejorar la cohesión y la contribución a la firmeza de la masa y de este modo evitar la desintegración de las pastas durante la cocción.

Investigaciones reportan que los datos de las características de calidad de estudio, tales como, el peso cocido, pérdidas por cocción, la firmeza y la valoración global de aceptabilidad indican que el uso de HPMC mejoró la calidad de la elaboración de pasta con un mejor peso de pasta cocida, mínimas pérdidas de cocción y la máxima calificación de manera general en comparación con el control y otros aditivos. Del mismo modo, en el Cuadro 16 se muestran los valores obtenidos en el parámetro de absorción de agua que indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las formulaciones observando la misma tendencia con los parámetros anteriores, como resultados F2 mostró el mayor porcentaje de absorción de agua con un valor de 192,91%, mientras que la pasta F5 mostró un valor de 119,72% puede ser posible que influyo el hidrocoloide (HPMC), que mejora la textura de la pasta sin embargo influye en la absorción de agua, los valores más bajos se observaron F9, F10 y F14 (control) con 65.84%, 97.54% y 81.49%, respectivamente, que no contenían HPMC en su composición, excepto F9 que tenía una concentración de 0.5%. Este comportamiento puede ser debido a la naturaleza soluble de la goma de HPMC y su interacción, que la red de polisacárido hidratado posteriormente puede tener al encapsular en la matriz al almidón-proteína que contribuye a la disminución de pérdida por cocción como lo reportan Purnima, Ramasarma y Prabhasankar, (2012).

En varios estudios han evaluado los diferentes efectos que trae consigo la nueva formulación de productos en los que la adición y sustitución parcial o total de sémola, para fortificar y obtener productos libres de gluten, en la que se ha reportado que la adición de harinas sin gluten para la fabricación de la pasta tiende a disminuir la fuerza del gluten de la sémola de trigo, causando la interrupción y deterioro de la estructura de la pasta, que también permite la lixiviación de los sólidos al agua de cocción (Rayas-Duarte *et al.*, 1996).

Cuadro 16. Calidad de cocción de pastas.

Formulación	Peso de pasta cocida (g)	Perdidas por cocción (%)	Absorción de agua (%)
F1	23.59 ^b ±0.42	13.95 ^c ±0.04	117.04 ^d ±0.58
F2	29.80 ^a ±0.60	15.71 ^b ±0.11	192.91 ^a ±0.08
F3	23.04 ^{bc} ±0.24	13.78 ^c ±0.15	122.63 ^b ±0.36
F5	22.02 ^{bc} ±0.50	6.80 ^e ±0.06	119.72 ^c ±0.26
F6	20.74 ^{cd} ±0.67	7.22 ^e ±0.32	106.58 ^e ±0.59
F7	21.35 ^{bcd} ±0.76	15.75 ^b ±0.28	115.75 ^d ±0.32
F8	8.20 ^f ±0.19	39.77 ^a ±0.64	19.86 ⁱ ±0.23
F9	17.14 ^e ±1.37	14.86 ^{bc} ±0.21	65.84 ^h ±0.35
F10	19.40 ^{de} ±0.59	9.47 ^d ±0.50	97.54 ^f ±0.75
F11	17.95 ^e ±0.56	3.65 ^g ±0.69	80.82 ^g ±1.12
F14	17.56 ^e ±0.23	5.11 ^f ±0.13	81.49 ^g ±0.62

a, b, c, d, e, f, g, h, i Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey. F1-F14 Formulaciones de pastas de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9).

6.4.3 Textura en pastas

En el Cuadro 17 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de extensibilidad de las formulaciones de las pastas, tales datos indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las muestras con respecto a la pasta control (F14), se observó disminución de la extensibilidad y así mismo de la resistencia máxima al incrementar el porcentaje de sustitución de sémola de trigo, obteniendo F2 ($1.37 \pm 0.10\text{mm}$), F8 ($0.79 \pm 0.14\text{mm}$) y F9 ($0.96 \pm 0.04\text{mm}$) los valores más bajos, siendo pastas sustituidas totalmente de sémola tanto F2 y F8, mientras que para la pasta control sus valores tanto de extensibilidad y resistencia máxima fueron $5.94 \pm 1.15\text{mm}$ y $57.19 \pm 0.25\text{g}\cdot\text{mm}^2$, respectivamente. Algunos reportes mencionan que la presencia de cantidades crecientes de compuestos diferentes a las proteínas del gluten interrumpen y diluyen la fuerza del gluten, debilitando la estructura global de la pasta dando como resultado reducción de la firmeza de la pasta, por otra parte las condiciones de procesamiento como contenido de humedad de la masa, temperatura y tiempo de secado

de las pastas, etc., pueden definir en gran medida la formación de una buena red o matriz de almidón-proteína, que determine la firmeza de la pasta (Rayas-Duarte *et al.*, 1996; Islas-Rubio *et al.*, 2014).

Cuadro 17. Análisis de parámetros de textura en pastas.

Formulación	Extensibilidad (mm)	Resistencia máxima (g.mm ²)
F1	2.18 ^{cdef} ±0.18	19.39 ^{bc} ±8.55
F2	1.37 ^{def} ±0.10	6.44 ^c ±2.06
F3	2.15 ^{cdef} ±0.21	4.78 ^c ±1.57
F5	2.84 ^{bcde} ±0.54	36.70 ^{abc} ±1.22
F6	3.34 ^{bc} ±0.61	34.99 ^{abc} ±7.71
F7	2.93 ^{bcd} ±0.54	29.56 ^{bc} ±10.01
F8	0.79 ^f ±0.14	4.82 ^c ±1.71
F9	0.96 ^{ef} ±0.04	4.25 ^c ±0.25
F10	2.55 ^{cdef} ±0.01	27.87 ^{bc} ±4.36
F11	4.70 ^{ab} ±0.45	73.42 ^a ±29.37
F14	5.94 ^a ±1.15	57.19 ^{ab} ±0.25

a, b, c, d, e, f, Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey. F1-F14 Formulaciones de pastas de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9).

6.5 Caracterización de pastas por microscopia.

6.5.1 Microscopia de luz

Con el fin de evaluar la calidad estructural de la superficie de las pastas, tratamientos seleccionados (F2, F5, F6, F10 y F14) fueron observadas por microscopio óptico, estas imágenes se muestran en la Fig. 12 A' - E'; donde se puede observar la microestructura de la superficie de pastas seleccionadas.

La Figura 12 E' muestra una red compacta y homogénea, mientras que en el resto de las pastas se notó la presencia de pequeñas grietas (indicado en la Fig. 12 A' y C') y una matriz no homogénea que muestra detalles de la formación de agregados o aglomerados señalados en las imágenes de microscopía óptica con flechas de color blanco (Fig. 12 B' y D'). En trabajos como; Fiorda *et al.*, (2013); Susana y Prabhasankar, (2013), han reportado resultados similares a los encontrados en este estudio, se ha visto la presencia de grietas y porosidad en la red o matriz de pasta elaborada con harinas diferentes a la sémola de trigo y mencionan que estos efectos pueden ser causadas por los diferentes contenidos de almidón, proteína y fibra en la harina utilizada, lo que resulta en la formación de redes con microestructuras de aglomerados de proteínas incrustadas en los gránulos de almidón.

6.5.2 Microscopía de fuerza atómica (AFM).

Las técnicas de microscopía nos proporcionan información cualitativa sobre la microestructura de los alimentos, sin embargo, el análisis de imágenes de microscopía de fuerza atómica puede proporcionar parámetros cuantitativos de rugosidad de la superficie a través de rugosidad media (Ra) y la raíz cuadrada de rugosidad (Rq) (Murrieta-Pazos *et al.*, 2012; Barrera *et al.*, 2013). La Figura 13 muestra las imágenes de AFM de topografía en gráficos 2D y 3D, en el que se presentó una superficie rugosa con valles y cavidades pronunciadas (Figura 13 b, c, d.); que se componen de partículas de almidón y aglomerados de proteína-fibra descritos anteriormente en la sección 6.2, mientras que en el Cuadro 18 se presentan los valores de la rugosidad (Ra y Rq) de las formulaciones de las pastas seleccionadas.

La Figura 13a muestra una superficie más lisa y la estructura homogénea con valles y cavidades que son menos profundas, resultando una superficie menos rugosa con valores de Ra y Rq de $161,06 \pm 30$ nm y $195,65 \pm 43,3$ nm. En este sentido, F14 que mostró los mayores valores de rugosidad Ra y Rq de $210,98 \pm 78,5$ nm y $254,96 \pm 89,0$ nm, respectivamente. Mientras tanto, F5 que se muestra en la Figura 13b se encontró en los valores intermedios de rugosidad Ra valor de $165,01 \pm 42,0$ nm y Rq $199,55 \pm 48,3$ nm. La figura 13c corresponde a la pasta F10 que muestra el valor Rq de $240 \pm 56,7$ y Ra $76,6 \pm 188$. El comportamiento de

la disminución de la rugosidad en la pasta fue influenciado por la adición e incremento del nivel de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*. Sin embargo, son pocos los informes que se encuentran con valores de rugosidad en pasta, elaboradas de harina sin gluten o tradicionalmente hechas de sémola, pero hay descripciones cualitativas y cuantitativas de los gránulos de almidón y principales proteínas del gluten que demuestran la existencia de la formación de la red de gluten y la topografía como resultado de un análisis de imágenes de AFM, como resultado de una investigación de Barrera *et al.*, (2013) encontraron valores de rugosidad para gránulos de almidón nativo de trigo y observaron una superficie lisa, mientras que en almidón dañado en un intervalo de 13,3 a 72,9% trae como consecuencia aumento en la rugosidad (Ra), donde la topografía muestra valles formando cavidades más pronunciadas. En cambio, las imágenes de AFM de fideos elaborados de patata dulce mostraron límites de grano grueso en varios lugares, lo que indica que mientras que los grandes gránulos hinchados fueron interrumpidos por ser procesado en fideos, el resto de las formas todavía estaban presentes, los límites de estas formas inter-granulares eran estrechas en la pre-indentación de fideos, pero al parecer mucho más grandes en la post-indentación (Wu *et al.*, 2016).

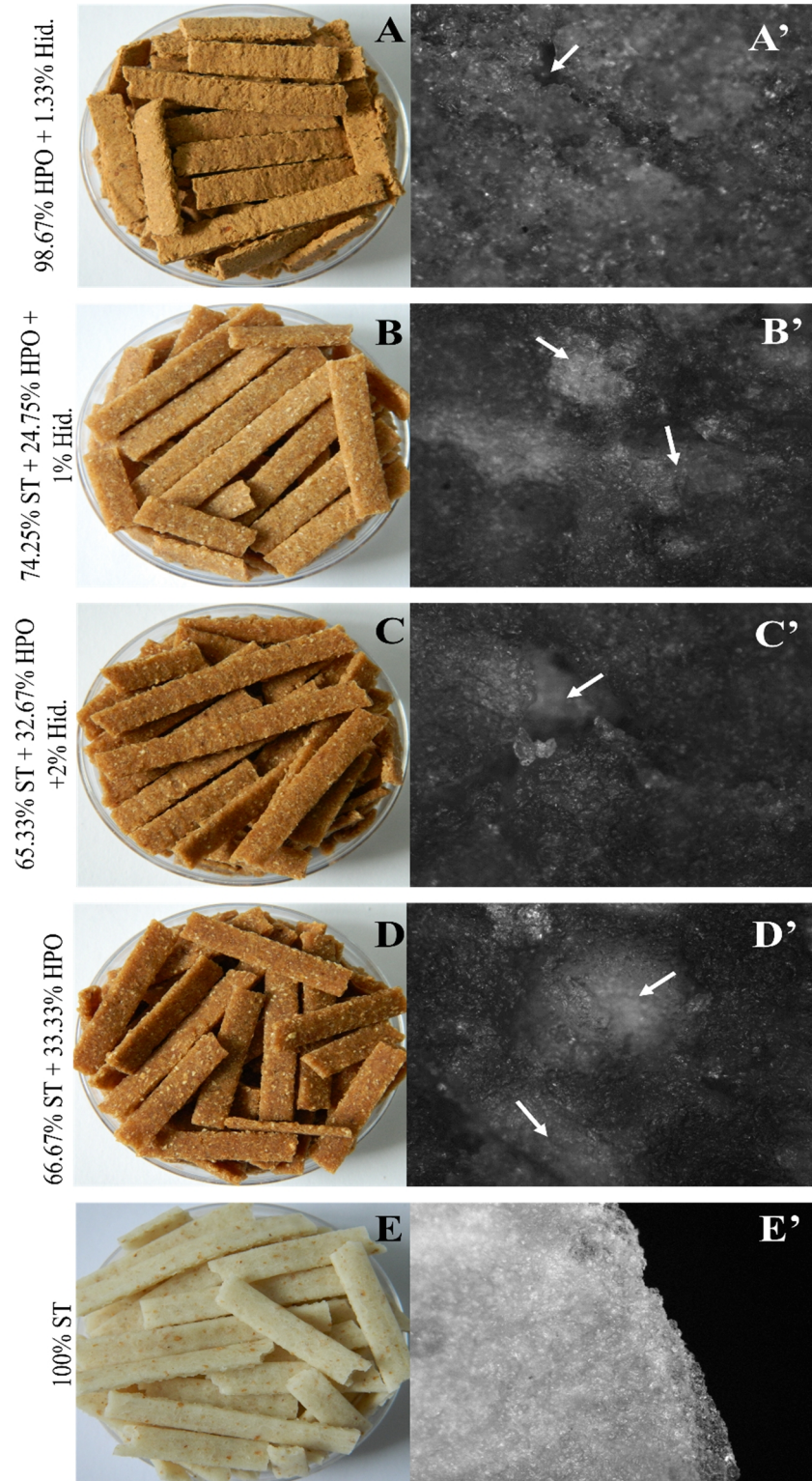


Figura 12. Imágenes de microscopía óptica de las superficies de pastas seleccionadas (A'-E') obtenidas a magnificaciones de 4x. ST: sémola de trigo; HPO: harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*; Hid.: hidrocoloide. Las flechas en la imagen A' y C' indican fracturas en las pastas y en B' y D' se refieren a formación de agregados distinto al resto de la matriz.

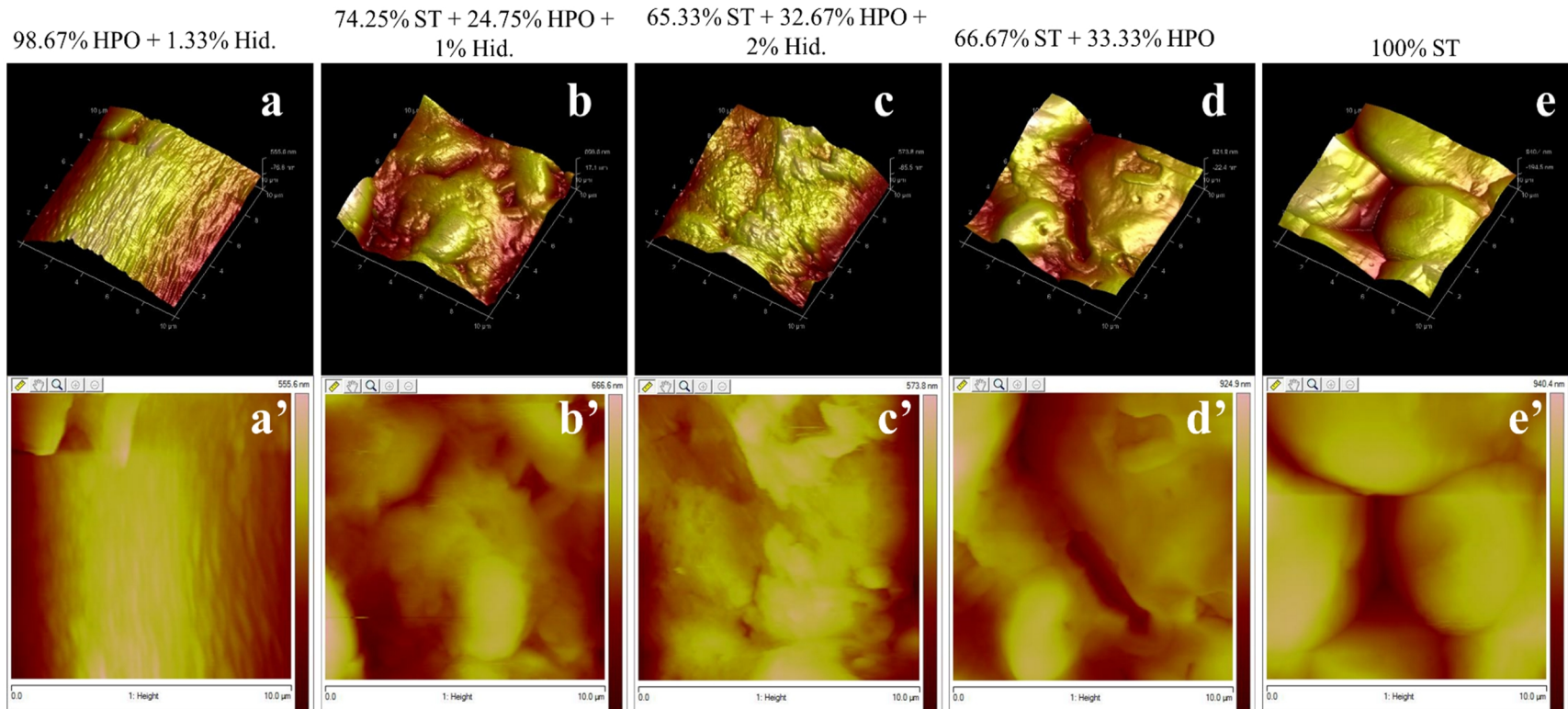


Figura 13. Imágenes de la topografía 3D y 2D en microscopía de fuerza atómica (AFM) de formulaciones de pastas. En la parte superior de cada imagen se indica la concentración de cada formulación de acuerdo al diseño experimental (Cuadro 9). ST: sémola de trigo; HPO: harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*; Hid.: hidrocoloide. F2= a-a'; F5=b-b'; F6= c-c'; F10= d-d' y F14= e-e'.

Cuadro 18. Valores de la rugosidad de las pastas seleccionadas por análisis de AFM.

Parámetros	F2	F5	F6	F10	F14
R _a (nm)	161.06 ± 30	161.21 ± 83.6	165.01 ± 42.0	220.70 ± 82.6	210.98 ± 78.5
R _q (nm)	195.65 ± 32.7	193.73 ± 91.0	199.55 ± 48.3	264.53 ± 86.7	254.96 ± 89.0

6.6 Evaluación del análisis sensorial

La prueba fue realizada con 37 jueces consumidores no entrenados, el objetivo fue encontrar el nivel de aceptación de cada muestra sin ser comparadas entre ellas, ya que los jueces no conocían las diferencias entre las formulaciones. Solo se midió el grado de satisfacción en base a una escala hedónica de 5 puntos, donde el valor más bajo designado para 1 se refiere al nivel de “me disgusta mucho” y el valor alto es otorgado al 5 para un nivel de “me gusta mucho”.

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial se muestran en la Fig. 14 de las tres formulaciones seleccionados (F14, F2 y F6), las tres formulaciones no presentaron diferencias significativas, encontrándose los valores en los intervalos de “me gusta” y de “ni me gusta ni me disgusta”, cabe señalar que la F2 es una pasta considerada libre en gluten por tener una concentración del 98.67% de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* así como 1.33% de hidrocoloide (HPMC) y la F6 es una pasta sustituida parcialmente con 32.67% de harina de *Oxalis tuberosa* y no presentaron diferencias con respecto al control (F14). Algunas de los comentarios realizados por los jueces consumidores argumentaron que las pastas F2 y F6 poseían un sabor similar descrito como agridulce y que esto le confiere un sabor especial, ambas pastas no tenían una buena consistencia, así como también la influencia del color propiamente de la harina de *Oxalis tuberosa* es un factor importante a considerar en la aceptabilidad de estos productos sustituidos por nuevas harinas que le dan un color oscuro a las nuevas formulaciones, aunque actualmente algunos consumidores pueden aceptar pastas oscuras si son de un mejor valor nutritivo como contenido de aminoácidos esenciales, fibra,

polifenoles y antioxidantes (Mirhosseini *et al.*, 2015). De acuerdo a un reporte por Ferreira *et al.*, (2015) mencionan que la presencia del gluten tiene gran influencia en la calidad sensorial de pastas, como su importancia en propiedades como la elasticidad y cohesividad, tamaño molecular, la conformación e hidratación. Al respecto, en un estudio por Puppini *et al.*, (2012) reportan que en un análisis de pastas modificadas los porcentajes de aceptación recibieron la mayoría de puntuación en comparación con una pasta estándar para personas sin enfermedad celiaca, mientras que el mismo análisis con pacientes celiacos se confirmó que la aceptación de las muestras de pastas modificadas fue más alta que los pacientes no celiacos, y esto puede explicarse por el hábito de consumir productos modificados sin gluten.

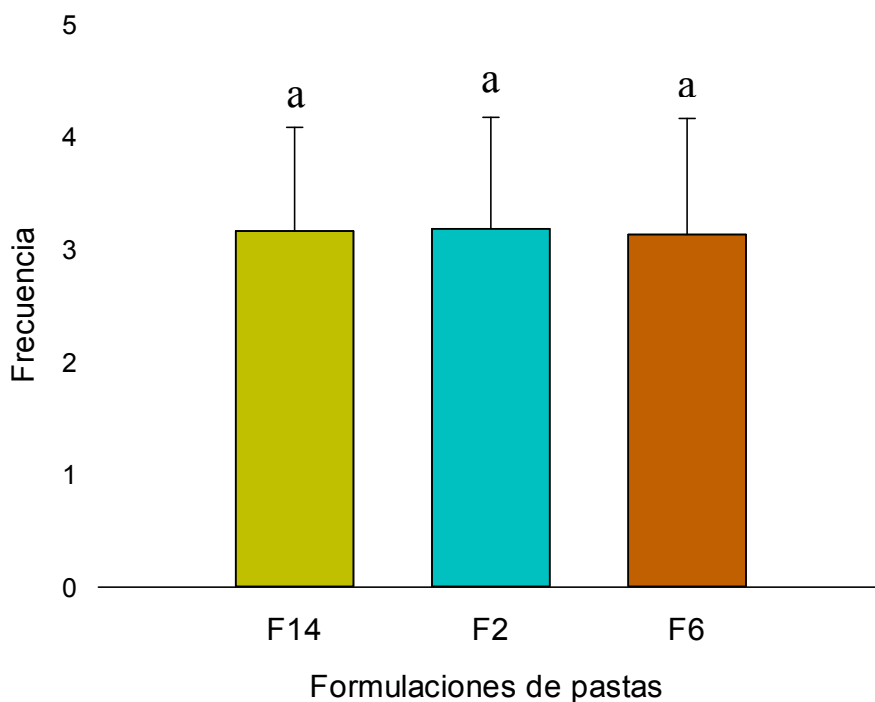


Figura 14. Evaluación sensorial afectiva para pastas seleccionadas.

7 CONCLUSIONES

- La composición química proximal de la harina reflejó ser una materia prima con buenas cualidades nutricionales al observarse contenidos de carbohidratos asimilables en un 70.6% en harina nativa de *Oxalis tuberosa* así como también contenido de proteínas de 12.59% y fibra 2.19%, mientras en la harina pre-gelatinizada hay un aumento de los carbohidratos asimilables hasta un 80.15%, mostrando valores de proteína de 6.03% y contenido de fibra de 1.66%.
- Al Analizar la distribución de tamaño de partícula permitió la evaluación de calidad de la harina, ya que es un factor en la fabricación de productos de sustitución parcial o libre en gluten.
- En las pruebas de textura en masas, se observó que tanto la dureza como la adhesividad se incrementan a medida que aumenta la concentración de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* y de hidrocoloide.
- Las formulaciones de las masas para pastas son menos extensibles comparadas con el testigo de sémola de trigo, debido principalmente a la ausencia de red de gluten, así como por los diferentes contenidos de proteína y fibra en la harina de *Oxalis tuberosa*.
- La incorporación de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* e hidrocoloide permitió elaborar las pastas sustituyendo en diferentes porcentajes a la sémola de trigo, encontrándose que la adición desde un 25% hasta un 33% de harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa* permitió obtener pastas con características deseables, lo que podría dar paso a la obtención de pastas bajas en gluten y libres en gluten.
- La calidad de las pastas se encontró en parámetros regulares comparada con las pastas tradicionales de sémola de trigo, y calidad similar a pastas elaboradas con harinas o almidón de diferentes fuentes botánicas, ya que pastas sustituidas parcialmente se encontraron dentro de los parámetros de calidad referente a la perdidas por cocción que el límite máximo es del 12%.

- El análisis de la microestructura por microscopía óptica y fuerza atómica (AFM) nos proporcionó una caracterización superficial de manera cualitativa y cuantitativa de las pastas, así como observar la interacción de los componentes de las pastas y su efecto, ya que dichas modificaciones a escala micro pueden ser importantes para el control de calidad de productos.

8 BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Method 66-50. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Acosta-Domínguez, L., Hernández-Sánchez, H., Gutiérrez-López, G., Alamilla-Beltrán, L., y Azuara, E. (2016). Modification of the soy protein isolate surface at nanometric scale and its effect on physicochemical properties. *Journal of Food Engineering*, 168, 105-112.
- Anzaldúa, M. A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza España. Acribia.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Washington, D.C., USA.
- Aravind, N.; Sissons, M.; Fellows, C.M.; Blazek, J.; Gilbert, E.P. (2013). Optimization of resistant starch II and III levels in durum wheat pasta to reduce in vitro digestibility while maintaining processing and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 136, 1100–1109.
- Araya, H., Pak, N., Alviña, M. (2003). Digestion rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meal. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 59, 119-126.
- Badui, D.S. (2013). *Química de los Alimentos*. Editorial PEARSON, 5ta ed. México, D.F. pp. 21-23.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Yan, H., (2003). Powder Characteristics of Preprocessed Cereal Flours. In: Kaletung, Gonul, Breslauer, Kenneth J. (Eds.), *Characterization of Cereals and Flours Properties, Analysis, and Applications*. Marcel Dekker Inc., New Jersey, U.S.A, pp. 173–208.
- Barrera, G.N., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G.F., León, A.E., Ribotta, P.D., (2013). Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1449–1457.

- Bastos, G., Soares Júnior, M., Caliarri, M., de Araujo Pereira, A., de Moraes, C., y Campos, M. (2016). Physical and sensory quality of gluten-free spaghetti processed from amaranth flour and potato pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 128-136.
- Bello-Pérez, L. A. y Pareces-López, O. (2009). Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*. 1: 50-65.
- Blazek, J. y Copeland, L. (2010). Amylolysis of wheat starches. I. Digestion kinetics of starches with varying functional properties. *Journal of Cereal Science*, 51, 265-270.
- Brennan, C.S., Kuri, V., Tudorica, C.M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86, 189–193.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., y Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science y Technology*, 22, 570–575.
- Cajamarca-Ruiz, E. E. (2010). Evaluación nutricional de la oca (*Oxalis tuberosa*) fresca, endulzada y deshidratada en secado de bandejas. Tesis para obtener el grado de químico farmacéutico. Ecuador.
- Catassi, C. y Fasano, A. (2008). Celiac disease. In: *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Edited by: Arendt, E. and Dal Bello, F. Elsevier. Burlington, MA, US.
- Codex Standard 178-1991. Standard for durum wheat semolina and durum wheat flour. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>
- Céspedes T, Sánchez D. (2000). Algunos aspectos sobre el estrés oxidativo; el estado antioxidante y la terapia de suplementación. Instituto de Cardiología y Cirugía cardiovascular, Habana-Cuba.
- Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P. M., y Del Nobile, M. A. (2008). Quality of spaghetti in base Amaranthus whole meal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. *Journal of Food Engineering*, 84, 101-107.
- Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R. & Campos, D. (2009). HPLC-DAD Characterization of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis*

- tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113, 1243-1251.
- Collar, C., Santos, E., y Rossel, C. M. (2007). Assessment of rheological profile and fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820–826.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Chiming, T.M. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23, 1527–1534.
- Delcour, J. A., Bruneel, C., Derde, L. J., Gomand, S. V., Pareyt, B., Putseys, J. A., Wilderjans, E. y Lamberts, L. (2010). Fate of starch in food processing: from raw materials to final food products. *Annual review of food science and technology*. 1, 87-111
- Della Valle G., Y. Boché, P. Colona y B. Vergnes. (1995). The extrusion behaviour of potato starch. *Carbohydrate Polymers*.28, 255-264.
- Englyst H. N., Kingman S. M, Hudson G., y Cummings J. H. (1996). Measurement of resistant starch in vitro y in vivo. *British Journal Nutrition*, 75, 749-755.
- Fabriani, G., Lintas, C. (1998). Durum wheat chemistry and technology. Cap. 10. American Association of Food Chemists. Inc. St. Paul, Minnessota.
- Fiorda, F. A., Soares, M. S., Da Silva, F. A., Grosmann, M. V. E., y Souto, L. R. F. (2013). Microestructure, texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. *LWT - Food Science and Technology*, 54, 132-138.
- Feillet P., Dexter J. E. (1996). Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In *pasta and Noodle Technology*; Kruger, J. E., Matsuo, R. B., Dick J. W., Eds. American Association of Cereal Chemists: St. Paul. MN, pp 95-132.
- Flores, M.G.A. (2008). Evaluación química, reológica y sensorial de pastas fortificadas con harina de *Jatropha curcas*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Flores-Silva, P. C. (2011). Desarrollo de una pasta sin gluten a base de harinas de plátano verde, garbanzo y maíz. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Fu, B. X. (2008). Asian noodles: history, classification, raw materials, and processing. *Food Research International*, 41, 888-902.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sanchez-Zapata, E. y Pérez-Álvarez, J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient, a review. *Food Research International*, 43, 931-942.
- Gallagher, P.K. (1997). *Thermal Characterization of Polymeric Materials*. Editado por Turi, E.A. Academic Press: New York
- Gallagher E, T.R. Gormley and E. K. Arendt. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products, *Trends in Food Science & Technology*, 15, 143-152.
- Giannetti, V., Boccacci Mariani, M., Mannino, P., y Testani, E. (2014). Furosine and flavour compounds in durum wheat pasta produced under different manufacturing conditions: multivariate chemometric characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 56, 15-20.
- Gil, A. (2010). *Tratado De Nutrición. Tomo II. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Capítulo 4.* Editorial Médica Panamericana. Madrid. 77-81 ISBN: 978-84-9835-347-1.
- Giménez, M.A., Drago, S.R., Greef, D.D., González, R.J., Lobo, M.O., Samman, N.C. (2012). Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation. *Food Chemistry*, 134, 200–206.
- Giménez, M.A., González, R.J., Wagner, J., Torres, R., Lobo, M.O., Samman, N.C. (2013). Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. *Food Chemistry*, 136, 538–545.
- Güemes-Vera, N., González-Victoriano, L., Soto-Simental, S., Hernández-Chávez, J.F., Reyes-Santamaría, M.I. (2012). Mechanical properties of cottage cheese-fortified wheat dough and loaf bread. *Journal of Food Science and Technology*, 1-6.

- Gui, Y. y Ryu, G. (2014). Effects of extrusion cooking on physicochemical properties of white and red ginseng (powder). *Journal of Ginseng Research*, 38(2), 146-153.
- Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV, Rosell CM. (2003). Effect of cyclodextrin glycoxytransferase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814-3818.
- Gujral H, Haros M, Rosell CM. (2004). Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and alpha-amylase. *Journal of Food Engineering*, 65, 89-94.
- Gujral H, Rosell CM. (2004). Functionality of rice flour modified by microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 39, 225-230.
- Gujral, H.S; Rosell, C.M. (2004). Improvement of the bread making quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*. 37, 75-81.
- Granito M., Torres A. y Guerra M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28, 372-379.
- Hagenimana A, Ding X, Fnag T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal Cereal Science*, 43:38-46.
- Han, K., Sekikawa, M., Shimada, K., Hashimoto, M., Hashimoto, N., y Noda, T (2006). Anthocyanin-rich purple potato flake extract has antioxidant capacity and improves antioxidant potential in rats. *British Journal of Nutrition*, 96, 1125-1133.
- Herman, M. (1992). Raíces y tubérculos andinos: Prioridades de investigación para un recurso alimentado pospuesto. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú, 36p.
- Hernández Bermejo, J., León, J., y FAO (1992). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal (FAO), (26).
- Hernández-Hernández, H. M., Chanona-Pérez, J. J., Vega, A., Ligeró, P., Mendoza-Pérez, J. A. Calderón-Domínguez, G. Terrés, E., Farrera-Rebollo, R. R. (2016). Acetosolv treatment of fibers from waste agave leaves: Influence of process variables and microstructural study. *Industrial Crops and Products*. 86, 163-172.

- Hernández-Lauzardo, A., Méndez-Montevalvo, G., Velázquez del Valle, M., Solorza-Feria, J., y Bello-Pérez, L. (2004). Isolation and Partial Characterization of Mexican *Oxalis tuberosa* Starch. *Starch - Stärke*, 56, 357-363.
- Hong-Zhuo, T., Zai-Gui, L., Bin, T. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42, 551–576.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 81, 253–267.
- Horkheimer, H. (2004). Alimentación y obtención de alimentos en el Perú prehispánico. Instituto Nacional de Cultura.
- Hoseney, R. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia. (1^{ra}. Ed.) España. 67-79.
- Hoseney, R. C. (1999). Principles of Cereal Science and Technology. Pp. 32–65, 269–274. St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.
- International Pasta Organisation (I.P.O.). (2006).
<http://www.internationalpasta.org/index.aspx?Lang=2> Consultada el día 30 de Abril de 2015
- Islas-Rubio, A., Calderón de la Barca, A., Cabrera-Chávez, F., Cota-Gastélum, A., y Beta, T. (2014). Effect of semolina replacement with a raw: popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 57, 217-222.
- Jenkins, D. J. A., Jenkins, A. L., Wolever, T. M. S., Collier, G. R., Rao, A. V., Thomson, L. U. (1987). Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. *Scand. J. Gastroenterol.* 22, 131-141.
- Kent L., N. (1987). Tecnología de los cereales. Editorial Acribia. (1^{ra}. Ed.) España. 49-86.
- Kim, J. & Shin, M. (2014). Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 526-532.

- Kuskoski E. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Rev. Bras. Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, vol 24, n 4, 691-693.
- Lai H. (2001). Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. *Journal of the science food and agriculture*. 82, 203-216
- Larrosa, V. J. (2014). Efectos de los hidrocoloides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., y Califano, A. (2013). Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. *Journal of Cereal Science*, 57, 520-526.
- Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, Biliaderis C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Liu H, Lelievre J, Ayong-Chee W. (1991). Study of starch gelatinisation using differential scanning calorimetry. X-ray and birefringence measurements. *Carbohydrate Research* 210, 79-87.
- Mariotti, M., Lametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P., Lucisano, M. (2011). Characterization of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *Journal of Cereal Science*, 53, 319-327.
- Marti, A. y Pagani, M. (2013). What can play the role of gluten in gluten free pasta?. *Trends in Food Science & Technology*, 31(1), 63-71.
- Masatcioglu, M.T., Gokmen, V., Ng, P.K.W., Koksel, H., (2014). Effects of formulation, extrusion cooking conditions, and CO₂ injection on the formation of acrylamide in corn extrudates. *J. Sci. Food Agric*. 94, 2562-2568.
- Masatcioglu, T., Ng, P., & Koksel, H. (2014). Effects of extrusion cooking conditions and chemical leavening agents on lysine loss as determined by furosine content in corn based extrudates. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 276-281.

- McCarthy D.F., Gallagher E., Gormley T.R., Schober T.J., Arendt E.K. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, 82, 609–615.
- Mestres, C., Collonna, P., y Buleon, A. (1988). Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mungbean starch vermicelli. *Journal of Food Science*, 53, 1809-1812.
- Mirhosseini, H., Abdul Rashid, N., Tabatabaee Amid, B., Cheong, K., Kazemi, M., y Zulkurnain, M. (2015). Effect of partial replacement of corn flour with durian seed flour and pumpkin flour on cooking yield, texture properties, and sensory attributes of gluten free pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 184-190
- Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L., Calvet, R., Cuq, B., y Scher, J. (2012). Food powders: Surface and form characterization revisited. *Journal of Food Engineering*, 112, 1-21.
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., y Lindhauer, M. G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3):681–686.
- 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.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Cozzolini, F., y Del Nobile, M. A. (2013). Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science*, 57, 333-342.
- Pagani, M. A. (1986). Pasta products from non-conventional raw materials. In C. Mercier, & C. Cantarelli (Eds.), *Pasta and extruded products* (52-68). London: Elsevier Applied Science.
- Pagani, M., Luciano, M., Mariotti, M. (2007). Traditional Italian Products form Wheat and Other Starchy Flours. In: *Handbook of Food Products Manufacturing: Principles, bakery, beverages, cereals, cheese, confectionary, fats, fruits and functional foods*. Wiley Interscience. ISBN 978-0-470-12525-0.

- Pazmiño Vaca, M. L. (2007). Estudio de la Oca (*Oxalis tuberosa*) y propuesta gastronómica. Quito, Ecuador: s.n. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Administrador Gastronómico.
- Perea-Flores, M., Chanona-Pérez, J., Garibay-Febles, V., Calderón-Domínguez, G., Terrés-Rojas, E., Mendoza-Pérez, J., y Herrera-Bucio, R. (2011). Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*). *Industrial Crops and Products*, 34, 1057-1065.
- Perea-Flores, M. J., Mendoza-Madrigal, A. G., Chanona-Pérez, J. J., Alamilla-Beltrán, L., y Gutiérrez-López, G. F. (2012). Microscopy techniques and image analysis for the quantitative evaluation of food microstructure. In J. G. Brennan, & A. S. Grandison (Eds.), *Food processing handbook* (2nd ed., pp. 623–665). Germany: Wiley-VCH Verlag & Co.
- Pérez E. (2009). Oxalidaceae. Fascículo 64. Instituto de Ciencia y tecnología A.C. México. 10-35.
- 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.
- Pérez-Nieto, A., Chanona-Pérez, J., Farrera-Rebollo, R., Gutiérrez-López, G., y Calderón-Domínguez, G. (2010). Image analysis of structural changes in dough during baking. *LWT – Food Science and Technology*, 43, 535–543.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, Ch., y Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43, 634–641.
- Puppin, Z.R., Assunção, B.R.B., Gandolfi, L., Selva, G.J., Martins, M.F., Pratesi, R. (2012). Green Banana Pasta: An Alternative for Gluten-Free Diets. *Academy of Nutrition and Dietetics*, 112, 1068-1072.

- Prieto, J., Rubio, C. U., Román, A. D., Méndez, M. A., González, C. A. y Prieto, F. (2009). Degradación física de almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. *Multiciencias*, 9, 115-125.
- Protonotariou, S., Drakos, A., Evageliou, V., Ritzoulis, C., y Mandala, I. (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29.
- Purnima, C., Ramasarma, P., y Prabhasankar, P. (2011). Studies on effect of additives on protein profile, microstructure and quality characteristics of pasta. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 50-57.
- Ramírez, R.K. (2012). Caracterización del almidón modificado a partir de Chayotextle (*Sechium edule* Sw.): formación de complejos amilosa-lípidos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Rayas-Duarte, P., Mock, C. M., y Satterlee, L. D. (1996). Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chemistry*, 73, 81-387.
- Robards K, (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*; 66.401-436.
- Rodriguez-Ambriz, S.L., Islas-Hernández, J.J., Agama-Acevedo, E., Tovar, J. y Bello-Pérez, L.A. (2008). Characterization of a fibre rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. *Food Chemistry*, 107, 1515-1521.
- Rytel, E., Tajner, C., Kita, A., Aniołowska, M., Kucharska, A., Sokol, A. y Hamouz, K. (2014). Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chemistry*. 164, 224-229.
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., y Ng, P. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33-39.
- Serna, S., S., Othón Sergio R. (2013). Química almacenamiento e industrialización de los cereales. Ed. A.G.T. editor, S.A. 5ta ed. México, D.F. pp. 3-28.

- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh, S.N., Singh, G.B. (2003). Review: Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219–231.
- Singh, S., Gamlath, S., y Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 42, 916–929.
- Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B., Chattopadhyay, P.K., (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering* 62, 1, 37-45.
- Sissons, M., Soh, H. N. y Turner, M. A. (2007). Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87, 1874-1885.
- Sozer, N., Dalgıç, A. C., y Kaya, A. (2007). Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*, 81, 476-484.
- Susanna, S., Prabhasankar, P. (2013). A study on development of Gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. *LWT - Food Science and Technology*, 50, 613-621.
- Steve, (1987). Nutritional Evaluation of Three Underexploited Andean Tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae), and *Tropaeolum tuberosum*. *Economic Botany*. 41, 4, 503-511.
- Totosaus, A., López, H., & Güemes-Vera, 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.
- Troncoso, Guija, Quiroz. (2003). Capacidad antioxidante del chimichurri y sus componentes. Segundo Congreso Internacional FITO 2003. Lima – Perú.
- Witczak, M., Juszczak, L., Ziobro, R., Korus, J. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 28, 353-360.

- Witczak, M., Ziobro, R., Juszcak, L., y Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. *Journal of Cereal Science*, 67, 46-57.
- Wójtowicz, A., y Lescicki, L. (2014). Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 1175-1185.
- Wu, K., Lucas, P., Gunaratne, A., Collado, L., Corke, H., Almusallam, A., y Thai, L. (2016). Indentation as a potential mechanical test for textural noodle quality. *Journal of Food Engineering*, 177, 42-49.
- Yalcin, S., Basman, A. (2008a). Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1637–1644.
- Yalcin S., Basman A. (2008b). Quality characteristics of corn noodles containing gelatinized starch, transglutaminase and gum. *Journal of Food Quality* 31 465–479.
- Yusuph, M., Tester, R., Ansell, R., & Snape, C. (2003). Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chemistry*, 82(2), 283-289.
- Zavareze, E.D.R., Guerra, D.A.R. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches. A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 317–328.
- Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S., y Ghribi-Aydi, D. (2016). Cookies from composite wheat–sesame peels flours: Dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, 194, 758-769.



BUAP / **INGENIERÍA**
FACULTAD

ACADEMIA JOURNALS
OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIO

Congreso Internacional de Investigación
Academia Journals Puebla 2016

AcademiaJournals.com

Certificado

otorgado a

Ing. Macario Vicente Flores
Dra. Norma Güemes Vera
Dra. Hilda María Hernández Hernández
Dra. Ma. Isabel Reyes Santa María

por su artículo intitulado

Efecto de la sustitución de sémola de trigo por adición de harina de Oxalis tuberosa pre-gelatinizada en las propiedades físicas y reológicas de pastas (Artículo No. Pue158)

el cual fue presentado en el Congreso desarrollado los días 9 y 10 de junio 2016 en la ciudad de Puebla, México, e incluido en las publicaciones del congreso, mismas que incluyen un volumen online con número ISSN 1946-5351, Vol. 8 No. 3, 2016 y un libro digital (ebook), mismo que tiene ISBN 978-1-939982-22-3 con código de barras.

Dr. Rafael Moras

Editor, Academia Journals
Profesor de Ing. Industrial, St. Mary's University



M. en I. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería

M. H. D. Julia I. Rodríguez Morales
Coordinadora General del Congreso

Pue158