



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

**“ELABORACIÓN DE PAN BLANCO DE CAJA Y PAN DULCE  
TIPO CONCHA LIBRE DE GLUTEN UTILIZANDO HARINA  
PREGELATINIZADA DE *Oxalis tuberosa*”**

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

P R E S E N T A:  
L.G. CHEF SALVADOR OMAR ESPINO MANZANO

DIRECTORA:  
DRA. NORMA GÜEMES VERA

Asesores:

Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. José Jorge Chanona Pérez

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. 2015



*"Sin la voluntad de Dios,  
no se mueve ni la hoja de un árbol"*

*TTA*

## **Agradecimientos**

**Al Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI) del Instituto Politécnico Nacional en Yautepec, Morelos.**

**Al centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional con la dirección del Dr. Jorge Chanona Pérez.**

**A DOW Chemical por su colaboración para poder llevar a cabo esta investigación.**

**A la Dra. Norma Güemes Vera, que en ella encontré la inspiración para que esto solo sea el principio.**



# 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: "Elaboración de pan blanco de caja y de pan dulce tipo concha libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*", que desarrolla el estudiante L.G. Salvador Omar Espino Manzano.

### Asistentes:

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dra. Aurora Quintero Lira
- Dr. Javier Piloni Martini
- Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

### A. Revisión de Trabajo de Tesis

#### Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a el L.G. Salvador Omar Espino Manzano, 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.



Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 20 de mayo del 2015.

Dra. Norma Güemes Vera

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. Javier Piloni Martini

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe



# ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	2
2.1 <i>Oxalis tuberosa</i> .....	2
2.1.1 Taxonomía, descripción botánica y cultivo .....	6
2.1.2 Composición química de la <i>Oxalis tuberosa</i> .....	8
2.1.3 Usos comunes de la <i>Oxalis tuberosa</i> .....	11
2.2 Pan .....	12
2.2.1 Definición de pan.....	16
2.2.2 Ingredientes utilizados en panificación .....	17
2.2.3 Clasificación de los productos de panificación de acuerdo a su composición .....	24
2.2.4 Proceso de elaboración de pan levado .....	26
2.3 Parámetros de calidad de los productos de panificación.....	31
2.3.1 Análisis realizados en productos de panificación .....	32
2.3.2 Análisis de imagen .....	36
2.3.3 Análisis microestructural en productos de panificación .....	36

2.4 Pan libre de gluten.....	38
2.4.1 Ingredientes usados en la elaboración de productos libres de gluten .....	40
2.4.2 Productos de panificación libres de gluten disponibles en el mercado.....	42
III. JUSTIFICACIÓN .....	43
IV. HIPOTESIS.....	43
V. OBJETIVOS.....	44
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
6.1 Obtención de harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	45
6.2 Formulaciones de pan de caja y pan dulce tipo concha.....	45
6.3 Diseño de los tratamientos .....	48
6.4 Elaboración de pan.....	48
6.5 Análisis químico proximal en harinas y producto terminado .....	49
6.6 Análisis de perfil de textura para masas y producto terminado .....	50
6.7 Extensibilidad de masas.....	51
6.8 Tenacidad de masas (Alveógrafo).....	52
6.9 Volumen y densidad .....	53
6.10 Color en miga y corteza.....	53
6.11 Evaluación sensorial.....	53
6.12 Análisis de imagen .....	54
6.13 Microscopia electrónica de barrido ambiental (ESEM) en masas .....	55

6.14 Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) en masas y producto terminado .....	55
6.15 Análisis estadístico .....	56
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	57
7.1 Análisis químico proximal de las harinas nativa y pregelatinizada de <i>Oxalis tuberosa</i> .....	57
7.2 Análisis de perfil de textura de masas para pan de caja .....	58
7.3 Análisis de perfil de textura de masas para concha .....	60
7.4 Extensibilidad de masa para pan de caja y concha.....	62
7.5 Tenacidad de masas (base seca) sistema Dough Inflation .....	65
7.6 Corte de pan de caja y concha.....	67
7.7 Volumen y densidad del pan de caja.....	68
7.8 Volumen y densidad de concha .....	70
7.9 Color en corteza y miga de pan de caja .....	72
7.10 Color en corteza y miga de concha .....	74
7.11 Análisis de perfil de textura para pan de caja .....	76
7.12 Análisis de perfil de textura para concha.....	78
7.13 Análisis de imagen para pan de caja.....	80
7.14 Análisis de imagen para concha.....	81
7.15 Análisis químico proximal del pan de caja.....	84
7.16 Análisis químico proximal de concha.....	85

7.17 Análisis Sensorial: Prueba afectiva escala de 5 puntos .....	86
7.18 Micro estructura de la masa en pan de caja por ESEM.....	88
7.19 Micro estructura de la masa en concha por ESEM.....	90
7.20 Micro estructura de la masa en pan de caja y concha por CLSM .....	91
7.21 Micro estructura de la miga en pan de caja y concha por CLSM .....	95
VIII. CONCLUSIONES .....	98
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	100



## INDÍCE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación del cultivo de papa en la región andina .....	2
Figura 2. Variedad de <i>Oxalis tuberosa</i> .....	3
Figura 3. Tianguis de Acaxochitlan, Hgo .....	5
Figura 4. <i>Oxalis tuberosa</i> .....	6
Figura 5. Planta y flor de <i>Oxalis tuberosa</i> .....	8
Figura 6. Formas comunes de tubérculo de <i>Oxalis tuberosa</i> .....	8
Figura 7. <i>Oxalis tuberosa</i> color rojo intenso .....	10
Figura 8. “La piñata” Diego Rivera 1953, Hospital infantil de México .....	11
Figura 9. Estructura del grano de trigo .....	19
Figura 10. Enlaces disulfuro de la red de gluten .....	20
Figura 11. Desarrollo de la red de gluten .....	20
Figura 12. Curva de crecimiento microbiano .....	22
Figura 13. Clasificación de los productos de panificación de acuerdo a su composición .....	25
Figura 14. Esponja o polish .....	26
Figura 15. Grupos de ingredientes en panificación .....	27
Figura 16. Corteza y miga de pan de caja—Estructura de la miga vista con microscopio óptico .....	30
Figura 17. Estructura del pan levado.....	31
Figura 18. Curva del análisis de perfil de textura .....	33
Figura 19. Curva de extensibilidad .....	34

Figura 20. Alveograma .....	35
Figura 21. Análisis de imagen en pan .....	36
Figura 22. Microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) para masa de pan.....	37
Figura 23. Microscopía confocal de barrido laser (CLSM) en masa .....	38
Figura 24. Logotipo “libre de gluten” .....	42
Figura 25. Ingredientes de base seca libre de gluten .....	46
Figura 26. Pan de caja y concha .....	49
Figura 27. APT en masas y pan .....	50
Figura 28. Extensibilidad de masa .....	51
Figura 29. Sistema Dough Inflation .....	52
Figura 30. Formato de evaluación sensorial.....	54
Figura 31. Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) .....	55
Figura 32. Microscopio confocal de barrido laser .....	56
Figura 33. Corte de pan de caja .....	67
Figura 34. Corte de concha .....	68
Figura 35. Escala de color de acuerdo con los parámetros L*a*b.....	72
Figura 36. Análisis de imagen para pan de caja.....	81
Figura 37. Análisis de imagen para concha.....	82
Figura 38. Evaluación sensorial afectiva para pan de caja .....	87
Figura 39. Evaluación sensorial afectiva para concha .....	87

Figura 40. Micrografía de masa para pan de caja por ESEM a 120X .....	89
Figura 41. Micrografía de masa para pan de caja por ESEM a 1000X .....	89
Figura 42. Micrografía de masa para concha por ESEM a 120X .....	90
Figura 43. Micrografía de masa para concha por ESEM a 1000X .....	91
Figura 44. Micrografía de masa para pan de caja por CLSM .....	93
Figura 45. Micrografía de masa para concha por CLSM .....	94
Figura 46. Micrografía de miga para pan de caja por CLSM .....	96
Figura 47. Micrografía de miga para concha por CLSM .....	97

## INDÍCE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Producción anual de raíces y tubérculos en México.....	6
Tabla 2: Taxonomía de la <i>Oxalis tuberosa</i> .....	6
Tabla 3: Nombres comunes de la <i>Oxalis tuberosa</i> según el país.....	7
Tabla 4. Composición químico proximal de <i>Oxalis tuberosa</i> fresca, asoleada y deshidratadas.....	9
Tabla 5. Materia prima utilizada en panificación .....	18
Tabla 6. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne .....	20
Tabla 7. Condiciones óptimas de la levadura <i>Saccaromyces cerevisiae</i> usada en panificación .....	22
Tabla 8. Ingredientes usados en productos libres de gluten .....	41
Tabla 9. Formulación para pan de caja con trigo y libre de gluten .....	46
Tabla 10. Formulación para concha con trigo y libre de gluten .....	47
Tabla 11. Diseño de los tratamientos .....	48
Tabla 12. Análisis químico proximal en harinas nativa y pregelatinizada de <i>Oxalis tuberosa</i> .....	58
Tabla 13. Análisis de perfil de textura para masas de pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada.....	59
Tabla 14. Análisis de perfil de textura para masas de concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	61
Tabla 15. Extensibilidad de masa para pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	64
Tabla 16. Extensibilidad de masa para concha adicionado con harina de <i>Oxalis</i> <i>tuberosa</i> pregelatinizada .....	64

Tabla 17. Tenacidad de base seca libre de gluten por sistema Dough inflation ..	66
Tabla 18. Volumen y densidad del pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	69
Tabla 19. Volumen y densidad de la concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	71
Tabla 20. Color de la corteza del pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	73
Tabla 21. Color de miga del pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	74
Tabla 22. Color de la corteza de concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	75
Tabla 23. Color de la miga de concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	76
Tabla 24. Análisis de perfil de textura para pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	77
Tabla 25. Análisis de perfil de textura para concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	78
Tabla 26. Análisis de imagen para pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	80
Tabla 27. Análisis de imagen para concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	82
Tabla 28. Análisis químico proximal para pan de caja adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada .....	84
Tabla 29. Análisis químico proximal para concha adicionado con harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada	86

## RESUMEN

El estudio de productos libres de gluten es un tema de interés actual para la industria alimentaria, diseñados originalmente para personas que padecen la enfermedad celiaca, son elaborados con mezclas de harinas y almidones. Algunas fuentes subexplotadas como la *Oxalis tuberosa* cultivada en la zona de Acaxochitlan Hgo. es utilizada en esta investigación para desarrollar pan de caja y pan dulce tipo concha libres de gluten.

Dentro de los objetivos de este trabajo fue la caracterización de las masas y productos terminados libres de gluten. Se formuló una base seca libre de gluten utilizada como testigo compuesta de harinas y/o almidones de arroz, maíz, tapioca y papa, ligados con Wellence Gluten Free compuesto principalmente de Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Se sustituyó el almidón de maíz por harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada por extrusión en cuatro tratamientos. Para ambos productos se elaboró pan con harina de trigo utilizado como control.

Los ensayos reológicos fueron análisis de perfil de textura, extensibilidad y tenacidad por sistema Dough Inflation, lo cual determinó la calidad y características de las masas para ambos productos, encontrando que las masas libres de gluten son más duras (13.51N) y menos extensibles (16.34mm) comparadas con la masa testigo de trigo con 2.30N y 33.94mm respectivamente.

En cuanto al producto terminado la firmeza, el volumen y la estructura de la miga se vieron afectados en las masas libres de gluten comparados con el trigo, aunque el tratamiento 2 adicionado con un 6% de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada presentó las mejores características de los tratamientos. La evaluación sensorial mostró que la adición de la harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada es comparable con el trigo en grado de aceptación.

Finalmente se realizó un análisis de la microestructura por microscopia electrónica de barrido ambiental (ESEM) y microscopia confocal de barrido laser (CLSM) que permitieron observar la interacción de la estructura de la masa y producto terminado.

## ABSTRACT

The study of gluten-free products is a topic of current interest to the food industry, originally designed for people with celiac disease, are prepared with mixtures of flour and starches. Some sources underexploited as *Oxalis tuberosa* grown in the area of Acaxochitlan Hidalgo. It is used in this research to develop pan bread and “concha” bread gluten-free.

Within the aims of this work it was to characterize the dough and gluten-free breads. Dry gluten free base used as a control made of flour and/or rice, corn, tapioca and potato starch, linked with Wellence Gluten Free mainly compound by Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC). Corn starch was replaced with *Oxalis tuberosa* flour pregelatinized by extrusion in four treatments. For both products, bread was prepared from wheat flour used as control.

The rheological tests were texture profile analysis, extensibility and tenacity by Dough Inflation System, which determined the quality and characteristics of dough for both products, finding gluten-free dough are harder (13.51N) and less extensible (16.34mm) compared to wheat dough control with 2.30N and 33.94mm respectively.

In bread firmness, volume and crumb structure were affected in gluten-free dough, compared with wheat, but treatment 2 added with 6% of *Oxalis tuberosa* pregelatinized flour showed better characteristics of the treatments. Sensory evaluation showed that the addition of *Oxalis tuberosa* pregelatinized flour is wheat comparable with the level of acceptance.

Finally, an analysis of the microstructure by environmental scanning electron microscopy (ESEM) and confocal laser scanning microscopy (CLSM) which allowed to observe the interaction of the structure of the dough and bread were done.

## I. INTRODUCCIÓN

Las ciencias de los alimentos tienen como objetivo el desarrollo de productos que permitan cubrir las necesidades de la sociedad. Parte de ese estudio, es la elaboración de productos libres de gluten diseñados principalmente para aquellas personas que padecen celiaquía (intolerancia al gluten) (Cappa *et al.*, 2013).

El pan es considerado como uno de los primeros alimentos procesados por el hombre, permitió desde la domesticación del trigo, formar parte de la dieta de las primeras civilizaciones. Con el tiempo se convirtió en la base de alimentación en países europeos y con el descubrimiento del nuevo mundo logro extender sus fronteras. Sin embargo, las personas con enfermedad celiaca no tienen acceso a este tipo alimento al tener que llevar una dieta exenta de gluten de por vida (Onyango *et al.*, 2011).

La elaboración de productos de panificación libres de gluten tiene como reto principal imitar las propiedades funcionales de la red de gluten que otorgan a la masa todas sus características viscoelásticas y retiene el CO<sub>2</sub> generado en la fermentación. La incorporación de hidrocoloides como HPMC en la base seca libre de gluten (elaborada con harinas y/o almidones de cereales, semillas, leguminosas y tubérculos) permiten la formación de la masa, otorgan volumen y estructura a la miga (Demirkesen *et al.*, 2014).

Algunos tubérculos no convencionales como la *Oxalis tuberosa* originaria de la región de los Andes, es cultivada en zonas altas de clima frío como Acaxochitlan Hgo. que de acuerdo a estudios realizados anteriormente la fécula obtenida de este tubérculo tiene similitud con el almidón de maíz. La *Oxalis tuberosa* relegada al autoconsumo y producción a pequeña escala es una fuente rica en almidones, antioxidantes y un contenido proteico que puede alcanzar hasta un 15% (Valcalcer, 2013).

El objetivo de esta investigación fue la elaboración de pan blanco de caja y pan dulce tipo concha libres de gluten utilizando harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada por medio de extrusión determinando la calidad de estos con ensayos reológicos, pruebas de textura, evaluación sensorial y análisis microestructurales.



## II. ANTECEDENTES

### 2.1 *Oxalis tuberosa*

La papa blanca (*Solanum tuberosum*) es uno de los cuatro cultivos más importantes a nivel mundial, solamente debajo del maíz, trigo y arroz (Cepeda, 2003). El origen de su domesticación y cultivo se remota a tierras andinas hace más de 8000 años (Figura 1), en donde las culturas que se asentaron y desarrollaron en esa región vieron en la papa una fuente de alimento que podía ser muy versátil sobre todo en temporadas de frío (Álvarez, 1957). La papa es un producto, sin el cual hubiera sido imposible la existencia de asentamientos humanos en las regiones más altas de los Andes (Hans, 2004).



Figura 1. Representación del cultivo de papa en la región andina

Además de la papa blanca, se lograron domesticar otros tipos de tubérculos con diferencias morfológicas pero similares en su composición. En las zonas altas de la región andina se desarrollaron principalmente tres tubérculos nativos pertenecientes a distintas familias botánicas (FAO, 2000):

1. *Oxalidáceas*: Oca
2. *Baseláceas*: Olluco
3. *Tropeoláceas*: Mashwa

Oca es el nombre quechua (Oqa, Ok'a) que se dio a la *Oxalis tuberosa*, que posiblemente tenga su origen en las zonas más altas entre Perú y Bolivia (Herman, 1992; Cajamarca, 2010). En la región andina tiene el segundo lugar en importancia y es muy apreciada por el alto contenido de azúcares que posee. Dentro de su mismo género existen diferentes especies (Figura 2) que varían en su composición pero principalmente en su forma y color.



Figura 2. Variedad de *Oxalis tuberosa*

En el Perú prehispánico eran conservadas a través de una técnica ancestral similar al chuño, que consistía en secar la papa al sol y dejarla por la noche a la intemperie para que se congelara, este procedimiento podía tardar varios días. Posteriormente se exprimía la papa y se dejaba secar por más tiempo hasta obtener un producto libre de humedad. Esto con la finalidad de reducir la acidez natural presente en el producto, incrementando el contenido de azúcares, además de convertirlo en su principal fuente de carbohidratos durante el invierno (Hans, 2004). Este producto recibía el nombre de Khaya y podía ser almacenado por meses sin alterar sus propiedades nutrimentales (Cajamarca, 2010).

Con el descubrimiento del nuevo mundo y la inevitable imposición por parte de los españoles surge un choque cultural en todos los sentidos. A partir del año 1532 cuando el antiguo pueblo inca fue conquistado por Francisco Pizarro, la introducción de nuevos cultivos traídos de Europa desplazó a muchos de los cultivos “menos importantes” en la región andina (Roel, 2001).

En el año de 1810 el padre jesuita Giovanni Ignacio Molina fue quien hizo la primera descripción taxonómica de la *Oxalis tuberosa* (Pomar, 2002) pero no fue sino hasta el año 1830 que la *Oxalis tuberosa* llega a Europa y Nueva Zelanda en Oceanía en 1860, país donde últimamente ha obtenido su popularidad.

En México es probable que en el intercambio entre culturas Azteca-Inca en la época precolombina, la presencia de tubérculos como la *Oxalis tuberosa* ya hubiera estado presente aunque de forma poco significativa para la dieta de los mexicanos. Aunque no se describe exactamente como tal pero es mencionada cierta papa silvestre en el mercado de Tlatelolco a la llegada de los españoles según Fray Bernardino de Sahagún en su libro “Historia general de las cosas de Nueva España”:

*“...vende también unos erizos de fruta, una fruta como nabos que llaman jícamas, unas raíces de árboles que son como batatas, y patatas silvestres, y unas raíces comestibles....”*  
(Franciscano, 2006)

Existen pocos registros acerca de la ubicación de los cultivos de la *Oxalis tuberosa* en el territorio mexicano, aunque todos coinciden en que solo se cultiva en zonas donde el clima es templado-frío y a una altura considerable como las zonas altas de la Sierra Poblana, la Sierra Hidalguense o cerca del nevado de Toluca (Bukasov, 1963; Diaz, 2001). Solo se vende en mercados locales o tianguis como en el municipio de Acaxochitlan, Hgo. (Figura 3) en temporada invernal entre los meses de octubre y febrero donde recibe el nombre de papa inglesa o papa extranjera.



Figura 3. Tianguis de Acaxochitlan, Hgo

Actualmente cultivos como la *Oxalis tuberosa* son considerados como subcultivos o cultivos marginados, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en su publicación “Cultivos Marginados otra perspectiva de 1492” en 1992, donde hace mención que el proceso *a posteriori* de conquista trajo como resultado que la dieta de los pueblos conquistados fuera radicalmente transformada, desde la imposición de nuevos cultivos como el trigo, que requerían terreno y atención por parte del agricultor. Menciona también que se generó una competencia entre especies para ver la que cubría más demanda y no se preocuparon por ver cuáles eran las de más alto valor nutritivo. En el caso de la *Oxalis tuberosa* fue desplazada por el género *Solanum tuberosum* hasta limitarse solo al autoconsumo o el comercio a pequeña escala (FAO, 1992).

En México, en el último registro que se tiene de la producción anual de papa en 2009 (Tabla 1) ni siquiera abarca el género *Oxalis*, lo que quiere decir que esta especie no tiene gran significancia para el consumo en el país.

Tabla 1: Producción anual en toneladas de raíces y tubérculos en México

<b>Nombre</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Papa	1,522,611	1,750,797	1,670,148	1,500,497
Camote	60,306	59,477	56,832	44,051
Yuca	20,661	15,159	13,639	18,432
Nabo	1,637	2,559	2,708	2,518
Malanga	100	ND	ND	ND

(Plan Rector, 2012)

ND: No determinado

### 2.1.1 Taxonomía, descripción botánica y cultivo de la *Oxalis tuberosa*

La *Oxalis tuberosa* tiene la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 2) (Rosero, 2010):

Tabla 2: Taxonomía de la *Oxalis tuberosa*

Clase:	<i>Dicotyledoneae</i>
Orden:	<i>Geraniales</i>
Familia:	<i>Oxalidaceae</i>
Género:	<i>Oxalis</i>
Especie:	<i>Oxalis tuberosa</i>
Nombre común:	Papa roja



Figura 4. *Oxalis tuberosa*

Sin embargo la *Oxalis tuberosa* (Figura 4) recibe varios nombres a nivel mundial donde cada región ha adoptado a este cultivo, en la Tabla 3 se muestran los diferentes nombres que recibe la Oca según el país.

Tabla 3: Nombres comunes de la *Oxalis tuberosa* en diferentes partes del mundo

País o países	Nombre (s)
Perú, Ecuador, Bolivia y Chile	Oca
Venezuela	Cuiba, Quiba
Argentina	Macachin, Miquichi
Colombia	Huasisai, Hibia, Ibia
México	Papa extranjera, papa yuca, papa ratona, papa roja, papa inglesa
Nueva Zelanda	Yam
Francia	Truffette acide
Alemania	Knollen-sauerklee

Bukasov,1963; Díaz, 2001; FAO, 1992; Pérez, 2009; Mejía, 2006; León, 2011

La planta de la *Oxalis tuberosa* se compone principalmente de tallos, hojas, flores raíz y los más importantes los tubérculos que botánicamente puede definirse como un “tallo subterráneo ensanchado” que constituyen el principal órgano de almacenamiento de la papa (Cepeda, 2003).

Su cultivo se realiza principalmente por tuberización que consiste en plantar un mismo tubérculo en la tierra. El periodo vegetativo de esta planta es aproximadamente de 8 meses (Pomar, 2002). Es una herbácea anual aproximadamente de 0.200 a 0.400m de alto con hojas y tallo color verde oscuro, la flor de color amarillo con tonos verdes (Figura 5) y los tubérculos pueden variar en formas, tamaños y colores que van desde el blanco, amarillo, rosado, rojo y morado. (García, 2003; Rosero, 2010).





Figura 5. Planta y flor de *Oxalis tuberosa*

Las formas del tubérculo de *Oxalis tuberosa* pueden variar (Figura 6), de acuerdo a una clasificación propuesta por el Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (2001) se dividen en: a) ovoide, b) claviforme, c) alargado y d) cilíndrico.

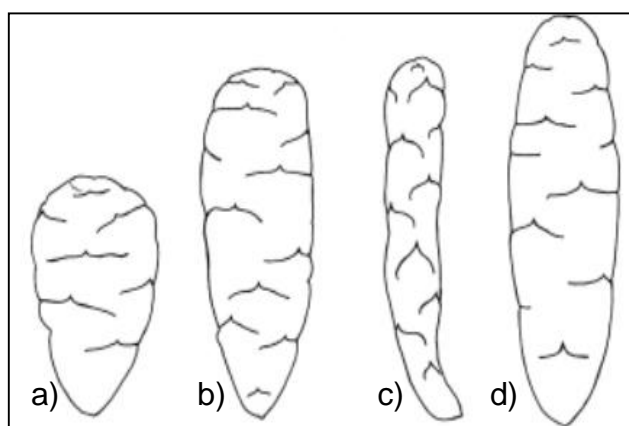


Figura 6. Formas comunes de tubérculo de *Oxalis tuberosa*

#### 2.1.2 Composición química de la *Oxalis tuberosa*

La composición química de la *Oxalis tuberosa* puede ser fundamentado en el análisis químico proximal. En estudios realizados por Cajamarca (2010) reporta que la composición cambia si la *Oxalis tuberosa* está fresca o ha sido asoleada, recibiendo el nombre de *kcaya* (Tabla 4).

Tabla 4. Composición químico proximal de *Oxalis tuberosa* fresca, asoleada y deshidratadas

<b>Parámetros</b>	<b>Oca fresca</b>	<b>Deshidratada 80°C</b>	<b>Oca asoleada</b>	<b>Deshidratada 80°C</b>
Humedad (%)	80.1	15.1	51.0	13.0
Ceniza (%)	3.9	7.3	4.3	8.1
Azúcares totales (%)	14.1	59.1	36.4	61.8
Azúcares reductores (%)	4.7	21.9	21.1	34.4
Azúcares no reductores (%)	9.4	37.2	15.6	27.2
Fibra (%)	0.8	6.8	3.0	7.3
Proteína (%)	1.1	8.6	5.3	9.8
pH	4.54	6.30	5.70	6.0
Almidón (%)	10.6	23.7	7.2	17.4
Ácido oxálico mg/100g	135	31.4	72	54.4
Ácido ascórbico mg/100g	187.19	71.93	65.34	41.96

(Cajamarca, 2010)



Otros estudios han reportado que además de los parámetros fisicoquímicos fundamentales, la *Oxalis tuberosa* también puede tener cantidades significativas de retinol (vitamina A) y los tubérculos recién cosechados contienen hasta 500 mg/100g de ácido oxálico (Rosero, 2010). Otras investigaciones muestran que la cantidad de proteína en base seca puede alcanzar 15.9% (Valcalcer, 2013).

Al tratarse de un tubérculo la parte más significativa es el almidón. De él pueden desprenderse algunas propiedades funcionales que son importantes en la elaboración de alimentos como lo son: gelificación o retención de agua, (Fennema, 2000) obteniendo un gel a los 64°C (Hernández, 2004).

La coloración de la *Oxalis tuberosa* (Figura 7) es causada por las antocianinas presentes en la cáscara y la pulpa. Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles producidos durante el metabolismo secundario de las plantas, y estos pigmentos en especial son los responsables de las tonalidades que van desde naranja hasta rojo, azul o morado intenso (Hernández, 2005).



Figura 7. *Oxalis tuberosa* color rojo intenso

### 2.1.3 Usos comunes de la *Oxalis tuberosa*

Los usos de la *Oxalis tuberosa* son limitados, al considerarse un subcultivo se limita al auto consumo y algunas preparaciones culinarias. En la gastronomía peruana por ejemplo, es parte de un platillo prehispánico conocido como “Pachamanca” que consiste en un guiso cocido bajo tierra compuesto, de carne de llama, cuy y papas de diversas variedades (Pazmiño, 2007). Por otra parte es utilizada comúnmente en la elaboración de mazamorra o atole en México o se adiciona en guisados como guarnición, además es utilizada en la elaboración de salsas en sustitución del tomate.

Otro uso muy peculiar que se ha dado a la *Oxalis tuberosa* en México, se encuentra en la época decembrina, donde se adiciona a las piñatas durante las posadas. El muralista Diego Rivera en su obra “La piñata” de 1953, ubicada en el hospital infantil de México (Figura 8), muestra esta tradición, donde anteriormente la piñata era rellena con fruta y colación.



Figura 8: “La piñata” Diego Rivera 1953, Hospital Infantil de México

## 2.2 Pan

El pan desde tiempos inmemoriales ha sido base de la alimentación para la humanidad, es considerado para algunos historiadores como el primer alimento procesado (Cauvain, 2007). El trigo junto con otros cereales silvestres fue una de las primeras plantas en ser cultivadas, con esto el hombre primitivo comenzó a realizar los primeros amasijos secando los granos al sol y posteriormente masticándolos.

Los primeros panes fueron elaborados colocando la masa sobre piedras calientes. En el antiguo Egipto este producto sufrió una gran metamorfosis cuando por accidente se dejó masa a la intemperie y con el paso del tiempo fermento dando lugar a un producto con más volumen y sabor que el pan ázimo (Roberts, 1995).

El pan descrito de una manera sutil y artística: “Una simple mezcla de harina, levadura y agua, tan antigua como la humanidad y a la vez totalmente contemporánea”, se convirtió en la base de la alimentación de los pueblos del viejo mundo (Betinet, 2007).

Posteriormente, uno de los avances más significativos que ha tenido el proceso de la panificación lo aportó la cultura romana, empezaron a surgir los panaderos profesionales, provenientes de escuelas especializadas, o bien, traídos de Grecia.

Así, la panadería fue considerada como un arte, al nivel de la pintura y escultura. Tal fue su interés por este arte que fueron los romanos quienes desarrollaron las primeras amasadoras, inventaron el horno de ladrillo y mejoraron los molinos.

El pan hacía distinción de clases durante la época romana, ya que el pan de harina blanca refinada era para la nobleza y el pan moreno o de masa burda para los pobres. Este sistema racista es utilizado también para México en época de la colonia donde el pan se clasificaba en “el pan de abajo” y “pan floreado o especial”, basándose en el sistema romano (Velázquez, 2011).

La cultura romana una de las más ricas a nivel histórico establece fundamentos muy importantes en cuestiones de política y en esto se puede apreciar la forma en la cual las clases sociales estaban muy marcadas, la burguesía era la que con “su mano” movía a las clases más populares. La frase “pan y circo” designaba la forma de cómo el gobierno regalaba pan o trigo y daba espectáculos baratos para así tener entretenido al pueblo de los asuntos políticos.

La dieta de los soldados romanos que partían a guerras de conquista era basada en vino y un tipo de pan desarrollado para este objetivo y cuya característica principal era su tiempo de duración llamado *Panis Militaris*, cuya unión es, junto con el queso, parte esencial de “el ritual de las tapas” como se conocen en España y tomando como punto de partida el territorio andaluz, es parte de la cultura gastronómica del viejo mundo. Así mismo la unión de estos dos elementos forma parte de la ceremonia católica iniciada desde el año 33 D.C. donde el pan es consagrado por Jesucristo.

En Europa, durante la Edad Media se presentó una crisis de hambruna, la comida era escasa: algunas hierbas, granos y caza pequeña, y una hogaza de pan que se atesoraba. Durante esta época, la panificación no tuvo avances; la producción agrícola del trigo dejó de ser prioritaria y eso trajo como consecuencia la escasez de alimento y por ende la producción de pan.

Sólo dos clases sociales tenían acceso a este alimento: la burguesía y los religiosos. Fueron los monasterios y los conventos donde el pan encontró un refugio, que gracias a su simbolismo era valorado.

Más adelante, con el descubrimiento del nuevo mundo, el pueblo español llega a tierras mexicas en el año 1519 D.C. durante el reinado del antepenúltimo Cem-Anáhuac Uey-Tlatoani Motecuzoma Xocoyotzin (lo que quiere decir el Joven Señor Motecuzoma), lo que significó el choque de dos culturas y con esto un intercambio cultural en todos los aspectos. Durante este primer encuentro el dogmatismo y la lectura de antiguas profecías impulsó a que la toma de las tierras aztecas fuera inevitable.

Los “teules” como se conocían a estos bárbaros, conquistaron, de la manera más atroz al pueblo mexicana a través de engaños y traición. La ventaja militar era insuperable, en cuanto a avances bélicos podría decirse que a pesar que los nativos superaban en 20 a 1 a los conquistadores, estos contaban con armamento a base de metal, pólvora y bestias de combate. Espadas contra macahuitl, armaduras contra pectorales de cuero, cañones contra lanzas, bestias de guerra contra un espíritu incansable de libertad. La misión de los conquistadores era la de “civilizar” a estos indios e imponerles la religión católica sacrificando a los rebeldes, y todo, bajo el nombre de Dios.

Una vez instaurada la colonia conocida como la “Nueva España”, existió un intercambio de productos de todo tipo entre estos dos mundos. Los navegantes españoles traían consigo un pan de trigo llamado “bizcocho” o “galleta de barco”, origen de esta palabra para el pan dulce, que podía soportar largas travesías (Badui, 2012).

Para el año de 1524, la otra conquista es comandada por doce frailes franciscanos número que tomo como corazonada el Ministro General de la Orden Franciscana dado que fue el número de apóstoles que tomo Jesucristo para la conversión del mundo. Estos misioneros de las Indias llegaron con el propósito de no solo imponer su fe, sino el de aprender costumbres y tradiciones de los mexicas, y es aquí en esta parte de la historia de México donde surge el verdadero intercambio cultural y nace la auténtica cocina mexicana, fusión de dos mundos.

Uno de los cambios más interesantes durante esta metamorfosis a la Nueva España fue durante mucho tiempo la eterna pregunta ¿con pan o con tortilla?, que tiene su origen en la introducción del trigo a tierras mesoamericanas. En un inicio este alimento traído de tierras extrañas no era del todo aceptado por el pueblo mexicano, no aceptaban alimentarse de un producto hecho de una planta que requiere casi un año para poder ser procesada si tenían al maíz que lo hacía en 3 meses.

Esta adaptación por parte de ambas culturas tiene puntos de vista muy particulares, por un lado los “indios” no aceptaban el pan ni como limosna, su lealtad al maíz al parecer era lo único que no pudieron quitarle a ningún pueblo, la tortilla y el maíz en su infinidad de preparaciones a pesar de la conquista han sido hasta la actualidad base de la gastronomía Mexicana (Corcuera, 1999).

Por contraparte, el pueblo español se veía en la forzosa necesidad de cultivar trigo en estas tierras, no solo porque disgustaban de consumir maíz como su único recurso palpable, sino porque era indispensable para la elaboración de las hostias para los religiosos. Dieron por perdida la batalla frente al maíz, ya que además que este alimento junto con la papa salvaron a Europa de su hambruna.

Al final no tuvieron otra alternativa más que ceder y reconocer al maíz y la tortilla su importancia, el pueblo no quería pan “duro y sin sabor”, solo aceptaban el pan dulce, en formas caprichosas y nombres propios que ellos inventaban. Con el tiempo el oficio de panadero aparece por primera vez con los nativos y mestizos, como lo describe Fr. Bernardino de Sahagún en su libro Historia General de las cosas de Nueva España, Libro X, Capitulo XIX:

*“Panaderos:*

*El que es panadero tiene estas propiedades, que sabe bien cernir la harina y amasarla y sobarla e hinchar los panes y leudarlo, y hacer tortas y meter en el horno, y cocer bien el pan; y el pan que vende es blanco, bien cocido, tostado y a las veces quemado o moreno; y por el contrario, mal cocido y si esta como ha de estar y no esta avinagrado; es sabroso, suave y dulce.”*

Con esto nace una de las ramificaciones de la gastronomía mexicana: “el pan artesanal mexicano”, surgiendo diversos tipos de pan netamente mexicanos de carácter conmemorativo y religioso como el pan de muerto, la rosca de reyes, el pan de huevo, el pan de pulque todos y cada uno conservando la esencia y misticidad de cultura mexicana.

La evolución de la panadería mexicana con el paso del tiempo fue gratamente enriquecida con aportaciones de diversas naciones que de la mano de la historia han sido fusionados hasta llegar al trabajo artesanal del pan mexicano. Aportaciones francesas, americanas, árabes, españolas y orientales contribuyeron al nacimiento de un sinnúmero de panes de distintos tipos.

En la actualidad no se puede tener con exactitud un número de todos los tipos de pan que existen en la república mexicana; existen aproximadamente 750 tipos, de los cuales la gran mayoría es pan de dulce. La panadería mexicana se caracteriza por ser muy rica en la cantidad de ingredientes que la componen, en especial el pan artesanal.

Uno de los productos que surgen de la panadería mexicana es la concha, pan dulce que se caracteriza por tener una cobertura colorida y con forma precisamente de concha de mar, surge gracias al ingenio de los primeros panaderos mexicanos.

Por otra parte el pan de molde o pan de caja recibe su nombre debido a que se deja levar dentro de un recipiente donde posteriormente será horneado. Desde el año de 1928, Otto Frederick Rohwedder habitante de EUA invento la maquina rebanadora y así el pan de molde que podía ser envuelto después de su elaboración Desde entonces este ha tenido gran popularidad en consumo y además ha sido objeto de estudio de múltiples investigaciones.

En México el pan, ya sea dulce o salado representa una gran derrama económica para el país, las ventas anuales suman aproximadamente 116 millones de pesos y generan consumos de las distintas materias primas por 37 millones. El consumo per cápita es de 34Kg según lo reporta la CANAIMPA (2014).

### 2.2.1 Definición de pan

La palabra pan proviene del latín *pannus* que quiere decir masa blanca, en su principio fue elaborado con solo con harina de trigo, la incorporación de diversos ingredientes como semillas, granos y harinas de otras fuentes han cuestionado el origen de esa palabra que engloba gran diversidad de productos.

Dentro de las definiciones que involucran propiedades bioquímicas y fisicoquímicas puede definirse al pan como una espuma elástica sólida de las cuales contiene una fase continua compuesta en parte de una red elástica de las moléculas de gluten reticulados y, en parte, de moléculas de polímeros de almidón lixiviados, principalmente de amilosa y una fase discontinua de gránulos de almidón atrapados, gelatinizados, hinchados y deformes (Bermiller, 2003).

La harina de trigo es el ingrediente principal para panificación y de acuerdo a la definición anterior le otorga todas sus propiedades viscoelásticas. Para fines de esta investigación se utilizara una definición más abierta que no exente el uso de otros productos para la elaboración del pan.

Por pan se entiende al producto alimenticio elaborado con algún tipo de harina y/o fécula que obtiene su grado óptimo de cocción al coagular las proteínas o gelatinizar los almidones presentes. Partiendo de un fluido con propiedades reológicas que pueden ser viscoelásticas (con trigo) o viscoplásticas (sin trigo), dando como resultado un sistema coloidal de un gas en un sólido (espuma sólida) compuesta de una estructura básica llamada miga. Dicha definición engloba a los productos que son objeto de estudio de la presente investigación, que abarca productos de panificación libres de gluten.

### 2.2.2 Ingredientes utilizados en panificación

Como se ha mencionado anteriormente, la harina de trigo es el principal ingrediente de los productos de panificación, junto con la sal, agua y levadura, los cuales representan los ingredientes básicos para la elaboración de una masa blanca (Bertinet, 2007). A partir de esta la variación e incorporación de ingredientes dan como resultado un producto diferente. La Tabla 5 muestra la materia prima utilizada en panificación.



Tabla 5. Materia prima utilizada en panificación

Nombre	Tipos
Harina	Cereales, leguminosas, semillas, tubérculos
Sal	Estándar
Azúcar	Estándar, refinada, melaza
Levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	Fresca, liofilizada
Agua	Purificada, baja en sales minerales
Materia grasa	Manteca, mantequilla aceites vegetales, margarinas
Huevo	Fresco, deshidratado
Leche	Fresca, deshidratada
Aditivos	Conservadores, mejorantes
Saborizantes	Licores, esencias naturales y artificiales

### Trigo

El trigo, junto con el arroz, el maíz y la papa representan la base de la alimentación mundial. La harina obtenida de la molienda de este cereal tiene propiedades funcionales que otorgan a la masa características únicas. El grano de trigo se compone principalmente de tres partes: (Figura 9) salvado, endospermo y germen. En el endospermo se encuentran la mayor parte de las proteínas y almidones del cereal.

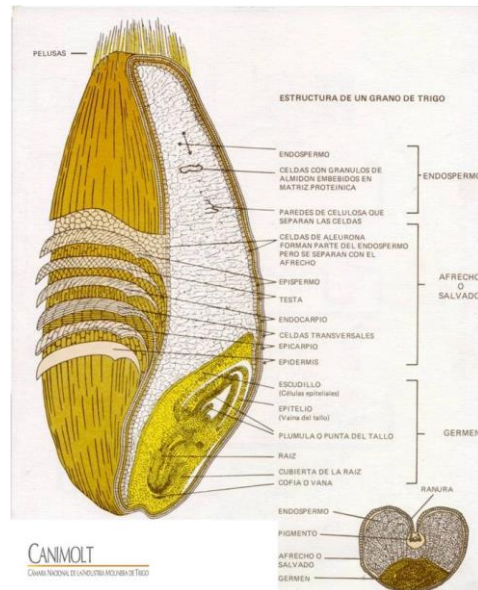


Figura 9. Estructura del grano de trigo

La calidad del trigo se determina de acuerdo al contenido proteico que puede variar de 12.5-6.5% para trigos cristalinos (semolinas), 10.5-14.5% para trigos duros (calidad panadera) y 8.0-10.5% para trigos suaves (calidad galletera) (Serna, 2009). 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 (Hoseney, 1991). La cantidad de almidón en el trigo varía entre el 70 y 75%.

## Gluten

El gluten es una red proteica formada por dos proteínas que componen al trigo. Las gliadinas y glutelinas que interactúan durante el amasado gracias a la hidratación y al trabajo mecánico mediante puentes bisulfuro (Figura 10) (Wieser, 2007). Este complejo proteico otorga a la masa elaborada con harina de trigo todas sus propiedades funcionales y viscoelásticas. Es capaz de formar una masa con cinco características esenciales: elasticidad, suavidad, cohesividad, adhesividad y esponjosidad (Figura 11). Además de la retención de CO<sub>2</sub> generado durante la fermentación y adherencia de los demás ingredientes.

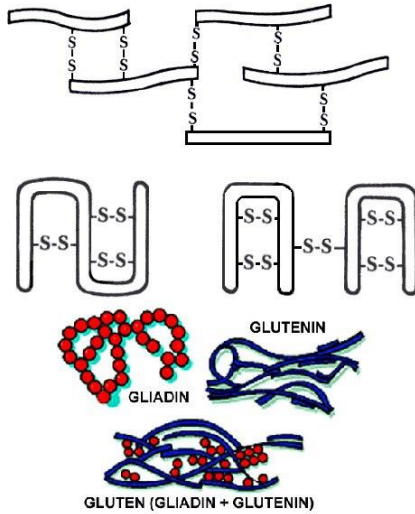


Figura 10. Enlaces disulfuro de la red de gluten



Figura 11. Desarrollo de la red de gluten

También existen otras proteínas que componen al trigo y pueden ser identificadas por su solubilidad en base a la clasificación de Osborne (De la Vega, 2009) que se muestran en la Tabla 6, donde se especifica que las partes proteicas que componen al gluten solo son solubles en alcohol y ácidos.

Tabla 6. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne

Fracción Osborne	Comportamiento en 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 la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla 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 de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

## Otros tipos de harina

Además del trigo en los productos de panificación pueden utilizarse otro tipo de harinas cuyo origen pueden ser o no cereales incluidos tubérculos, almidones, leguminosas y semillas. El uso de estos ingredientes es limitado ya que en exceso cambian las propiedades reológicas de las masas causando un efecto negativo en el producto final. Su objetivo principal es la variación en el valor nutrimental del producto así como el cambio en las características sensoriales del pan.

## Sal

En panificación es utilizado el cloruro de sodio (NaCl), las funciones de la sal incluyen la estabilización de la tasa de fermentación de la levadura, el fortalecimiento de la red de gluten, mejora el sabor del producto final y el aumento de masa de tiempo de amasado (Miller, 2008).

## Azúcar

La más utilizada es la sacarosa en sus distintos niveles de industrialización, aunque también se utilizan melazas. Sirven para dar sabor a las masas dulces, sustrato para las levaduras y participan en la reacción de Maillard durante el horneado (Serna, 2009).

## Levadura

La levadura utilizada en panificación es *Saccharomyces cerevisiae*, este microorganismo unicelular perteneciente al reino fungi es el responsable del levado del pan. El proceso de fermentación que lleva a cabo, produce el CO<sub>2</sub> que es atrapado en la red de gluten, sirviendo como agente leudante, otorgando volumen al producto final. Ya sea por la vía aerobia donde hay producción de CO<sub>2</sub> más biomasa y ATP o por la vía anaerobia donde hay producción de CO<sub>2</sub> más etanol y ATP (Hutkins, 2006).

Como todo microorganismo requiere de condiciones específicas para que su desarrollo sea óptimo (Tabla 7). El ciclo de vida de la levadura regido por la curva de crecimiento microbiano (Figura 12) está íntimamente ligada al proceso de panificación donde:

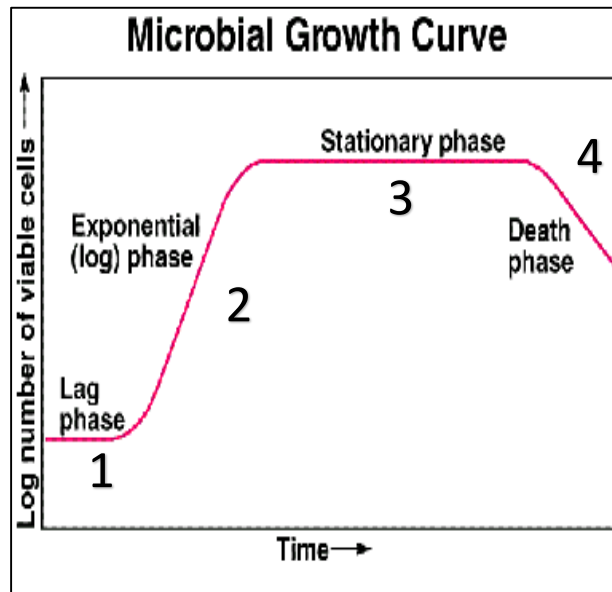


Figura 12. Curva de crecimiento microbiano

1. Amasado: Fase de latencia → Adaptación de la levadura al medio
2. Fermentación: Fase exponencial → Mayor producción de CO<sub>2</sub> y etanol
3. Levado: Fase estacionaria → Crecimiento lento y menor producción de CO<sub>2</sub>
4. Horneado: Fase de muerte → Interrupción de la curva (Hutkins, 2006).

Tabla 7. Condiciones óptimas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* usada en panificación

Condición	Descripción
Comida (Azúcar)	Utiliza la presente en la harina o añadida (sacarosa)
Humedad	70 -80% humedad relativa, activa la levadura liofilizada
Hábitat	Medio de cultivo o esponja (Harina, levadura, azúcar, agua)
Acidez	pH 5
Temperatura	32°C – 36°C

(Badui, 2012; Hutkins, 2006)

## Agua

Su trabajo es transformar la harina en masa. La cantidad de agua estará determinada de acuerdo a las propiedades mecánicas y reológicas que alcancen su punto óptimo de desarrollo del gluten mediante pruebas en farinógrafo o mixógrafo. Se recomienda utilizar agua baja en sales minerales ya que un agua muy “dura” puede influir en el desarrollo de la red de gluten.

## Materia grasa

Se clasifican según su naturaleza en: aceites (vegetales), mantecas (animales) y margarinas (grasas vegetales hidrogenadas). Aportan suavidad al producto final, retardan a retrogradación y lubrican la masa en su elaboración. Su uso depende de las características que se busquen en el pan. En el caso de las masas dulces la cantidad puede llegar hasta un 35% con respecto al peso de harina, la mantequilla aporta sabor y color a la miga, en otros casos el punto de fusión es fundamental para la elaboración de las masas. El hojaldre o feité es una masa que requiere una margarina con un alto punto de fusión (hasta 42°C) ya que el trabajo mecánico que conlleva el laminado genera calor, y si es utilizada una grasa común no podría elaborarse.

## Huevo

Aparte de ser un alimento completo nutricionalmente, tiene como funciones principales el dar estructura al pan cuando en el horneado las proteínas son coaguladas y dan sostén al producto. Esto es sumamente importante sobre todo en pastas para pasteles. Otra propiedad es la de agente estabilizador y emulsificante (Hutkins, 2006). Puede utilizarse como ingrediente líquido (huevo entero), como materia grasa (yema) o como ingrediente seco (huevo deshidratado). El último permite hidratar la masa con otro líquido que no sea agua y así aumentar las características del producto final como sabor, color y textura.

## Leche

Al igual que el huevo, la leche entera es un alimento completo nutricionalmente. Suaviza el producto, aporta sabor y aroma, participa en la reacción de Maillard debido a que las levaduras no hidrolizan la lactosa. Después del agua es el principal ingrediente líquido utilizado aunque puede utilizarse en polvo.

## Aditivos

Utilizados para mejorar la calidad de la masa y producto terminado dentro de los aditivos se pueden encontrar a los mejorantes, acondicionadores y estabilizadores, que están compuestos principalmente de enzimas y/o conservadores químicos como el bromato de potasio. Este último como agente oxidante incrementa la resistencia y extensibilidad de la masa, además de aumentar el volumen y mejorar la calidad de la miga del producto.

## Saborizantes

Ya sean esencias naturales, saborizantes artificiales, destilados o licores, en conjunto los saborizantes tienen como función principal la de otorgar al producto final sabor o aroma. Su uso debe ser limitado ya que un exceso puede generar sabores no gratos, así como un efecto inhibitorio con la levadura.

### 2.2.3 Clasificación de los productos de panificación de acuerdo a su composición

De acuerdo a su composición los productos de panificación pueden ser divididos en dos grandes ramas por su relación de harina (materia seca) y agua (líquidos) en masas (harina > agua) y pastas (harina < agua), esto se ve reflejado en la consistencia del producto donde la mayoría de las veces las pastas necesitan ser moldeadas con ayuda de una herramienta.

Dentro de las masas se pueden encontrar a su vez diferencias que serán generadas por la materia prima que la compone, así como las diferentes técnicas para su elaboración. Algunas como las quebradas no generan gluten teniendo un comportamiento viscoplástico, algunas no tienen levadura pero requieren de una máxima extensibilidad para ser laminadas como la masa hojaldre, entre otras (Figura 13).

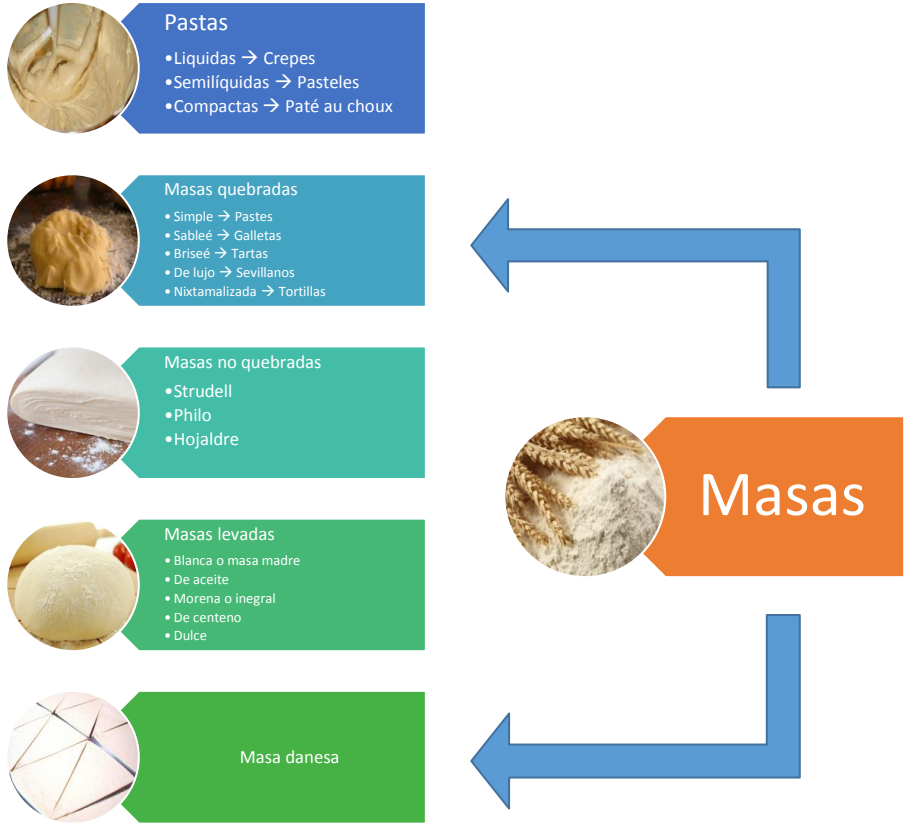


Figura 13. Clasificación de los productos de panificación de acuerdo a su composición (Bertinet, 2007; Perez, 2001)

Clasificación del pan de caja y el pan dulce tipo concha dentro de los productos de panificación

De acuerdo a la clasificación anterior, los productos que son objeto de estudio en esta investigación se encuentran por su composición en las masas levadas dulces. El pan de caja es elaborado en un molde rectangular que le da su forma. Es un producto muy versátil ya que suele ser la base de un “sándwich” o ser untado.



Por su parte, la concha técnicamente es la hibridación de dos técnicas, la masa dulce conforma la base del producto y la cobertura está elaborada con una masa quebrada que otorga el sabor y su forma característica. Este tipo de pan regularmente se sirve solo u ocasionalmente se rellena con nata.

#### 2.2.4 Proceso de elaboración de pan levado

Ya sea de manera artesanal o industrial existen dos métodos para la elaboración de pan levado. El primero es el método directo que consiste en integrar toda la materia prima desde el inicio y comenzar el amasado. El segundo método, es el llamado esponja (Figura 14) o polish, donde una parte de la masa solo comprende de masa madre, la cual tiene las condiciones ideales para la activación de la levadura. En este método, utilizado con mayor frecuencia en la panificación artesanal europea, la esponja se elabora incluso 24h antes del proceso para que la fermentación genere además de CO<sub>2</sub> y alcohol, otros elementos orgánicos generados por el sinergismo de bacterias que utilizan estos residuos para su metabolismo. Las notas aromáticas llegan a ser de una acidez muy acentuada propias de la mayoría de pan reposado (Bennion, 1967; Mesas, 2002; Gisslen, 2011).



Figura 14. Esponja o polish

Independientemente de los cambios bioquímicos que conlleva el uso de la esponja, su elaboración garantiza que la levadura que se va a utilizar este activa, lo cual funciona como una inspección en el proceso.

## Incorporación de ingredientes

Para la unificación y mayor control de las formulaciones, en panificación se utiliza un sistema de medición en base al porcentaje panadero. Esto quiere decir que se toma a la harina o en su defecto a la mezcla de harinas como el 100%, y los demás ingredientes serán siempre proporcionales a este porcentaje, lo que permite conocer el peso de cualquier ingrediente si se conoce el peso de la harina (Bennion, 1967). Finalmente puede hacerse un ajuste de pesos para medir el rendimiento de la formulación. Este sistema es de gran ayuda sobre todo en el diseño de tratamientos a nivel experimental o para la creación de nuevas formulaciones.

Los ingredientes suelen ser divididos en tres grupos: los productos secos, las materias grasas y los líquidos (Figura 15). La esponja una vez activa forma parte de los ingredientes líquidos. El orden en que son incorporados facilita el proceso, en primer lugar se elabora la esponja y se reserva, después se mezclan los secos, se incorporan las grasas y al final se añaden los líquidos incluida la esponja. Una vez concluido este paso comienza el amasado.

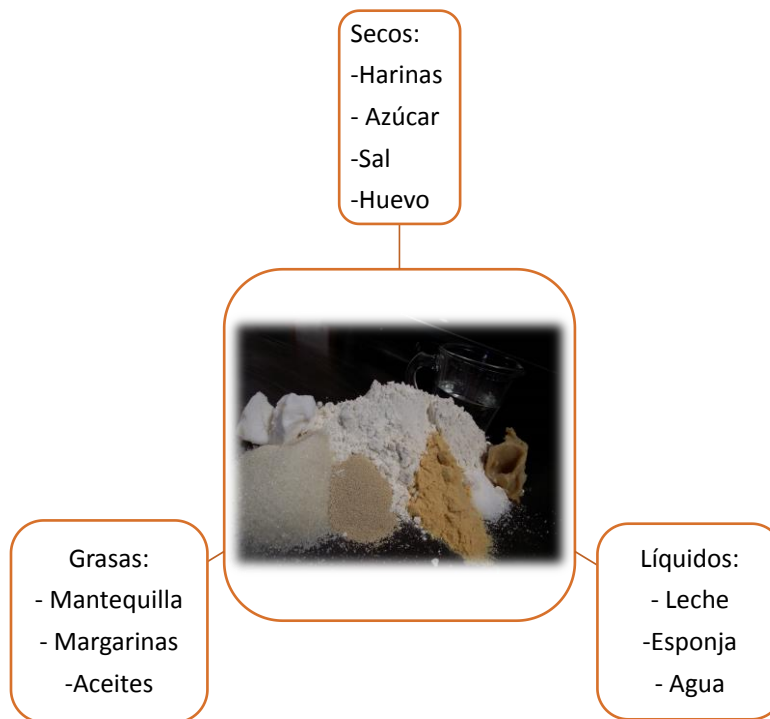


Figura 15. Grupos de ingredientes en panificación

## Amasado

Una vez incorporados los ingredientes comienza el proceso de amasado. El trabajo mecánico y la hidratación comienzan a formar enlaces hidrofóbicos y disulfuro (red de gluten). Al tiempo óptimo de amasado se le llama tiempo de desarrollo donde la masa adquiere todas sus propiedades reológicas de fluido viscoelástico, si existe un sobre amasado la red de gluten se romperá y dará un producto de mala calidad ya que no permitirá una buena retención de gas. A nivel sensorial una masa elaborada con harina de trigo presente 5 características: extensibilidad, cohesividad, adhesividad, suavidad y esponjosidad. Aunque la variación en los ingredientes altera el equilibrio de estas características sobre todo en masas donde el número de ingredientes que la componen es alto, como el caso de las masas dulces (Serna, 2009).

## Fermentación

En el caso de la panificación, el termino fermentación se refiere al desdoblamiento de los carbohidratos presentes en la masa en dióxido de carbono y alcohol etílico gracias a la intervención de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Potter, 1978). Posterior al amasado el proceso de fermentación permite retener el CO<sub>2</sub> en la red de gluten, lo que generará un producto con volumen y baja densidad. Las reacciones enzimáticas que ocurren en esta parte del proceso no solo corresponden a los carbohidratos donde las amilasas aumentan la biodisponibilidad de los azúcares acelerando la fermentación sino que además existen en menor cantidad reacciones por proteasas y lipoxigenasas que confieren a este tipo de productos aromas y sabores característicos. En el caso de procesos de fermentación muy prolongados existe la intervención de bacterias ácido lácticas que generan ácidos orgánicos y potencializan el sabor de las masas, sobre todo en pan europeo (In Hee, 2010).

## Ponchado, porcionado y formado

El CO<sub>2</sub> retenido en la masa durante la fermentación forma regularmente celdas irregulares de gas que son dispersas de forma irregular. Por esta razón las masas fermentadas deben ser “ponchadas” previamente a su formado. Este paso redistribuye el gas, formando celdas más pequeñas y regularmente distribuidas. Cerca del 45% de CO<sub>2</sub> generado se pierde al momento del ponchado, sin embargo, el reacomodo causa que las levaduras y azúcares puedan ser redistribuidos en la masa por lo que más sustrato pueda ser disponible y exista nueva generación de gas (Hutkins, 2006). Posterior al ponchado la masa debe ser dividida en partes de igual peso con el objetivo que exista uniformidad en el producto final y el cambio de volumen no incida al momento del horneado. Finalmente se forma de acuerdo al tipo de producto que se esté elaborando.

## Levado

Una vez que se ha formado la masa, el proceso de fermentación continúa, el CO<sub>2</sub> causa que la red de gluten se estire y la mayor parte de gas sea retenida en la matriz dando forma a la estructura interna del producto final. Aquí la levadura alcanza su fase estacionaria y su metabolismo es más lento, a la vez que llega un momento en el cual la presión generada por el dióxido de carbono es constante. Este paso entre el formado de la masa y el horneado se conoce como levado (Hutkins, 2006).

## Horneado

Técnicamente el horneado es la transformación de masa en pan (Mesas, 2002). La cocción dependerá en tiempo del tipo de horno (solera o circulación de aire) y calor (húmedo o seco) con que se esté trabajando a la vez de la cantidad de producto y el peso.

Sin tomar en cuenta estas variables el proceso de horneado se compone a su vez de distintas etapas. La primera se presenta con la introducción de la masa y en la cual existirá un incremento inicial de temperatura de 5 °C por minuto hasta alcanzar los 60 °C (Hutkins, 2006), es aquí donde existe expansión del CO<sub>2</sub>, evaporación del etanol y muerte de la levadura.

Posteriormente existen la coagulación de las proteínas y la gelatinización de los almidones hasta alcanzar los 90 °C internos, estos fenómenos intervienen directamente en la estructura del producto (Bennion, 1967; Pérez, 2001). Finalmente cuando se sobre pasan los 100 °C en la corteza existe deshidratación lo cual la vuelve más firme y da comienzo a las reacciones de pardeamiento (caramelización y reacción de Maillard) que otorgan su color dorado característico y a consecuencia de estas reacciones también se generan una serie de compuestos aromáticos *sui generis* del horneado (In Hee, 2010). Al final se genera una estructura sólida (Figura 16) pero con un porcentaje de humedad que la mantiene suave y esponjosa, el aire queda atrapado en los alveolos que se forman y se puede diferenciar la corteza de la miga que son las partes de todo producto de panificación elaborado con masa levada.

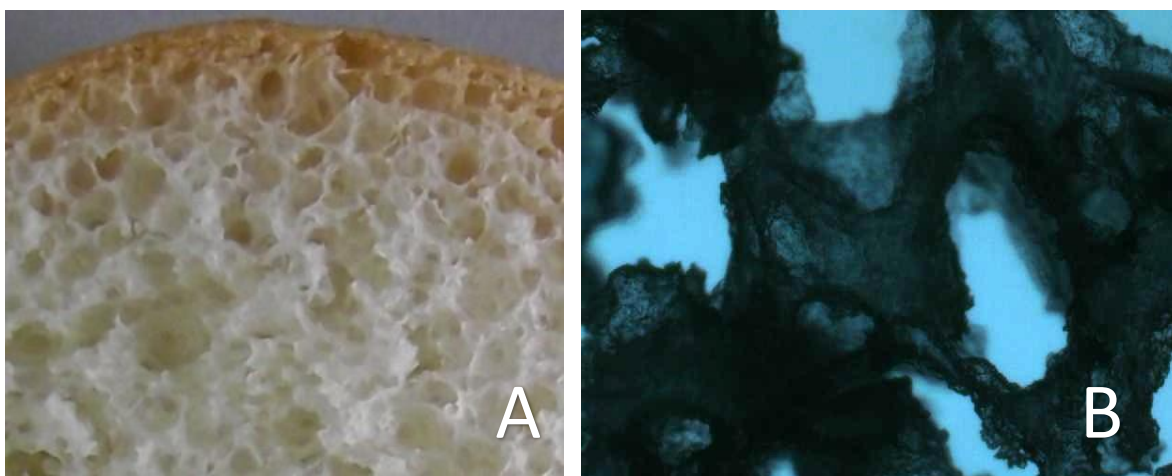


Figura 16. Corteza y miga de pan de caja (A) – Estructura de la miga vista con microscopio óptico (B) (Scanlon, 2001)

#### Almacenamiento

El manejo post horneado del producto tendrá influencia directa sobre su vida de anaquel. Durante su fase de enfriamiento existen dos fenómenos que se relacionan directamente sobre el endurecimiento del pan. El primero es la retrogradación del almidón (específicamente de la amilopectina) en donde posterior al fenómeno de hinchamiento tiende a expulsar el agua y reacomodar su estructura, el segundo involucra la migración de humedad desde la miga a la corteza y posteriormente al

ambiente (Bermiller, 2003). Este fenómeno es uno de los principales problemas en la industria de la panificación, al generar pérdidas si el producto no es consumido a tiempo, por lo que debe ser almacenado en un recipiente hermético una vez que la temperatura interna este en equilibrio con el exterior.

### 2.3 Parámetros de calidad de los productos de panificación

Siendo uno de los alimentos procesados más antiguos, el pan, como es su nombre genérico, tiene una gran diversidad de variedades. Cada producto, incluso el mismo en diferente región, tiene al final su propia huella digital que lo hace único. Esto se debe gracias a la variedad de ingredientes que lo componen, es por eso que hablar de calidad en este rubro en la actualidad no solo incluye la apariencia sino el aporte nutricional, la vida de anaquel del producto o en algunos casos cubrir un mercado que requiera de alimentación especial (Cauvain, 2007).

Los productos de panificación elaborados con masa levada se componen de 3 partes principales (Figura 17) que son: corteza, miga y alveolo. A partir de estos pueden determinarse los parámetros de calidad como textura, color o estructura de la miga que pueden ser calificados y cuantificados según el instrumento que se utilice para su medición, establecer un estándar y poder compararlos.

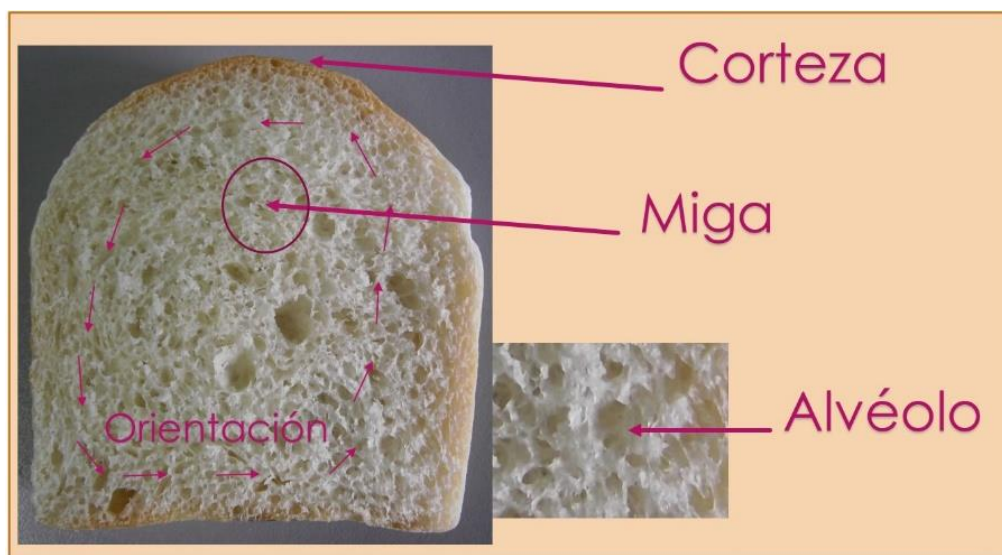


Figura 17. Estructura del pan levado (Lagrain *et al.*,2012)

### 2.3.1 Análisis realizados en productos de panificación

La evaluación de la calidad para el trigo y sus derivados tiene un trasfondo desde el grano mismo y su transformación hasta llegar al producto terminado. Las harinas son de suma importancia para la industria ya que del resultado de su análisis dependerá hacia qué sector serán destinadas. Para esto existen distintas técnicas, la mayoría descritas por la Asociación Americana de Químicos en Cereales (AACC). Desde ensayos físicos como el color en la corteza o las pruebas mecánicas realizadas a la masa (ensayos reológicos) son una herramienta que sirve para determinar la calidad (Serna, 2009).

#### Ensayos reológicos

La reología es el estudio de la deformación y flujo de la materia (Totosaus, *et al*, 2013). Dicha deformación puede ser medida en diferentes tipos de fuerza: tensión, compresión y torsión. En la ciencia de alimentos las investigaciones van dirigidas a la interacción de estas fuerzas y correlacionarlas a nivel macroestructural con alimento a manera de predecir o evaluar la calidad del producto final.

Los objetivos generales de las mediciones reológicas son entre otros obtener una descripción cuantitativa de las propiedades mecánicas del material, obtener información relacionada con la estructura molecular, así como caracterizar y calcular el rendimiento del material durante el procesamiento. Es de suma importancia mencionar que para los ensayos reológicos tienen condiciones específicas dependiendo de la muestra, es decir, los parámetros de medición deben ser controlados desde temperatura y condiciones de deformación para obtener resultados similares.

Dependiendo la información que se requiera, el análisis instrumental en masas y productos de panificación pueden ser llevadas a cabo en un texturómetro donde además del análisis de perfil de textura, pueden adaptarse pruebas de extensión uniaxial donde la masa es estirada en una sola dirección (extensibilidad en sistema Kieffer) y pruebas de extensión biaxial por sistema Dough Inflation (B.J. Dobraszczyk, 2003).

## Análisis de perfil de textura

El análisis de perfil de textura (APT) es un ensayo reológico que consiste en la doble compresión de una muestra, simulando la acción de la mandíbula y la interpretación de los datos dada en una curva de fuerza-distancia (Rosell, 2011) (Figura 18).

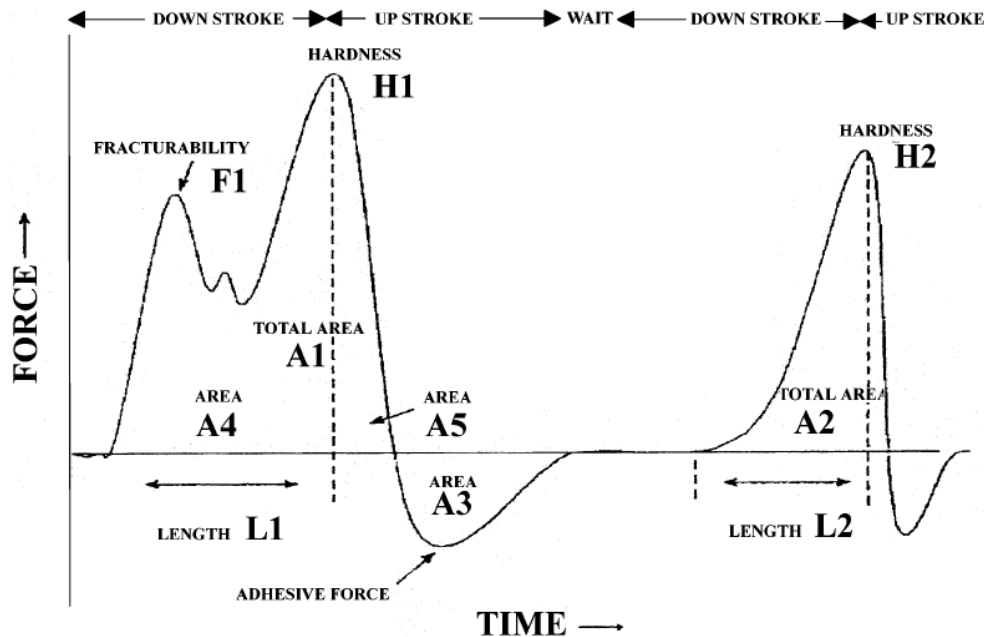


Figura 18. Curva del análisis de perfil de textura (Armero, 1997)

### Parámetros principales:

- H1: Dureza
- A3: Adhesividad
- A2/A1: Cohesividad
- L2/L1: Elasticidad

### Parámetros secundarios:

- F1: Fracturabilidad
- A5/A4: Resiliencia
- $H1 \cdot (A2/A1)$ : Gomosidad
- $H1 \cdot (A2/A1) \cdot (L2/L1)$ : Masticabilidad

Los parámetros de textura que pueden ser medidos mediante el APT se dividen en dos grupos: los principales son dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad; los secundarios que son fracturabilidad, masticabilidad, gomosidad y resiliencia (Szczesniak, 1963; Bourne, 1978).



La dureza (N) es la fuerza necesaria para comprimir la muestra hasta llegar a un punto meta (% de deformación), interpretada como suavidad en términos sensoriales para masas y productos de panificación, la adhesividad (mJ) es la fuerza de adherencia de la muestra y la superficie de contacto, la cohesividad es la relación que existe entre el área bajo la curva de las dos compresiones, es decir, que tanto tiende la muestra en recuperar su forma original una vez que se ha retirado la fuerza de compresión. En términos aplicados a la panificación se interpreta como la esponjosidad. Por último la elasticidad que es la relación de la distancia entre ambas compresiones de acuerdo al porcentaje de deformación preestablecido.

Tanto en las masas como en pan, los parámetros de textura permiten conocer, medir y comparar de forma cuantitativa la calidad de la muestra, empatándola con los atributos sensoriales.

### 2.3.1.3 Extensibilidad de masas

Esta prueba de microextensión uniaxial permite conocer la calidad del gluten en la masa de acuerdo a su capacidad de elongación (Dobraszczyk, 2003). El aditamento Kieffer dough and gluten extensibility rig acoplado a texturómetro mide, mediante una curva de fuerza-distancia (Figura 19) la máxima fuerza (resistencia a la extensión) y la distancia cuando el límite de elasticidad de la muestra es excedido y se rompe (extensibilidad), es una prueba rápida que permite obtener datos referentes a la calidad de la masa (Abboud Al-Saleh, 2012).

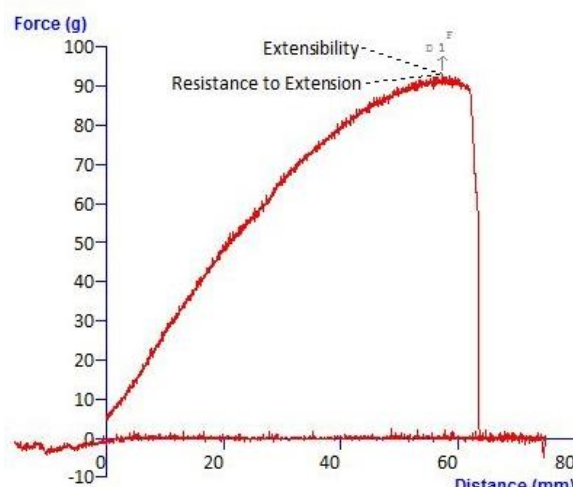


Figura 19. Curva de extensibilidad (Nash *et al.*, 2006)

## Tenacidad de masas

El Dough Inflation System acoplado a texturómetro (Stable Micro Systems, 2014) mide las propiedades reológicas de las masas (extensión y tenacidad) mediante la inyección de aire simulando los efectos de la fermentación (Serna, 2009). El alveógrama (Figura 20) muestra la tenacidad que es la aptitud para resistir la deformación (P); extensibilidad de la masa, el volumen máximo de aire que la burbuja es capaz de contener (L); configuración de la curva (P / L); resistencia al horneado de la masa, la superficie bajo la curva (W).

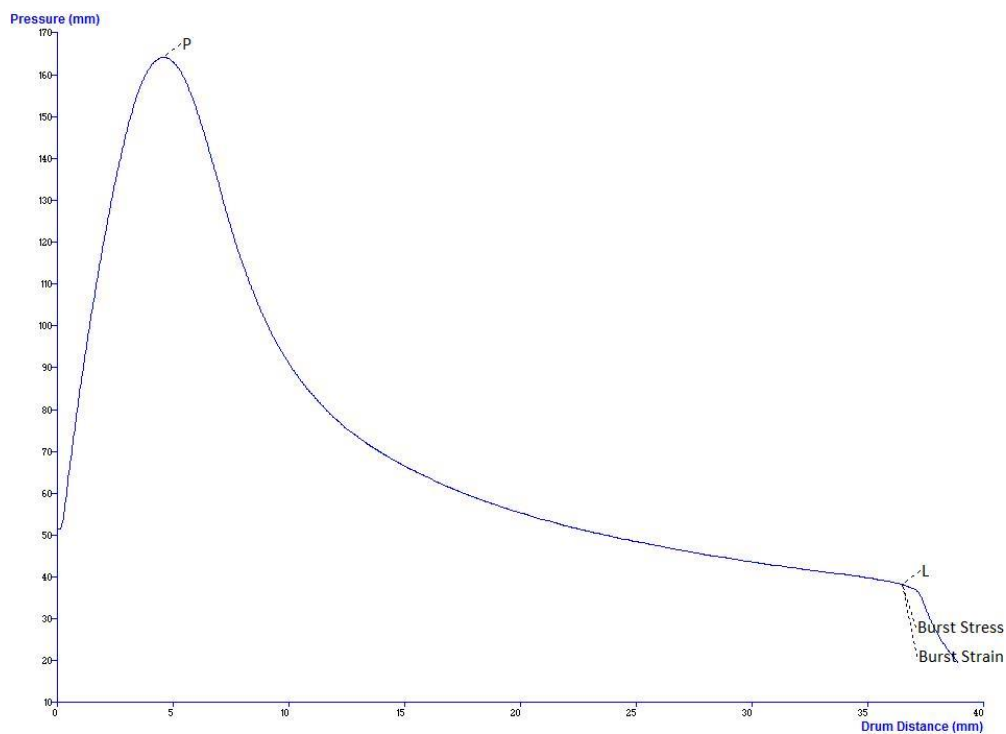


Figura 20. Alveograma (De la Vega, 2009)

De acuerdo al parámetro W las harinas se clasifican en débiles  $W < 200$  utilizadas en pastelería y galletería,  $200 < W < 300$  harinas de calidad panadera y  $W > 300$  harinas usadas en pastas alimentarias (De la Vega, 2009).

### 2.3.2 Análisis de imagen

El análisis de imagen es una herramienta utilizada para determinar la calidad de la miga (Totosaus *et al.*, 2013). Consiste en realizar un corte en la parte central del pan y capturar una imagen, la cual una vez digitalizada (Figura 21) permite mediante un software hacer una caracterización de la fase dispersa (aire) respecto a la fase sólida (Scanlon, 2001). El tamaño de las celdas, el área promedio y su relación con el área total del pan, pueden determinar la calidad alveolar de la miga y establecer la miga estándar del producto final. La calidad de la miga se puede dividir en tres parámetros: miga estándar y uniformemente distribuida, miga abierta y sin uniformidad y miga cerrada o miga compacta (Magdic *et al.*, 2006). La correlación que existe entre el volumen, la densidad, la textura y la calidad de la miga pueden evaluar y caracterizar los productos de panificación con inclusión de aire (levados).

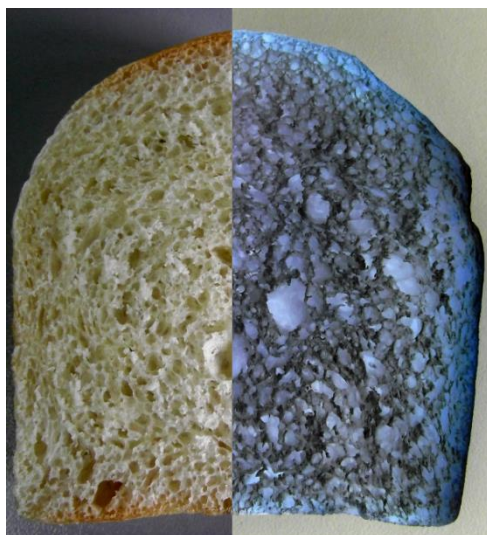


Figura 21. Análisis de imagen en pan (Díaz-Ramírez *et al.*, 2013)

### 2.3.3 Análisis microestructural en productos de panificación

El análisis a nivel microestructural ( $\mu\text{m}$ ) de la masa y la miga permite observar la interacción que existe entre los componentes de la misma (Kontogiorgos, 2011). Por un lado el uso del microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) donde la muestra no necesita ningún recubrimiento, refleja la interacción y distribución de la red de gluten y los gránulos de almidón (Figura 22) (Sanchez-Pardo *et al.*, 2008).

En las masas que no contienen trigo se observa cómo se comportan los distintos aditivos que imitan la red de gluten.

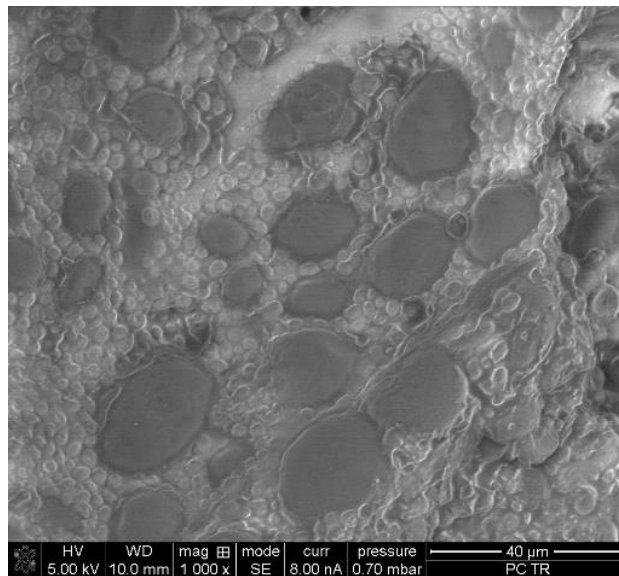


Figura 22. Microscopia electrónica de barrido (ESEM) para masa de pan (Sánchez-Pardo *et al.*, 2008)

Otra técnica utilizada para visualizar la microestructura de la masa y la miga es la microscopia laser confocal. El microscopio confocal incrementa el contraste y reconstruye imágenes tridimensionales utilizando un “pinole” espacial (colimador de orificio delimitante) para eliminar la luz desenfocada o destellos de la lente en especímenes que son más gruesos que el plano focal (Dürrenberger *et al.*, 2001; Baier-Schenk *et al.*, 2005).

Algunas muestras deben ser tratadas para delimitar la autofluorecencia de algunos de los componentes y reflejar solo aquellos de interés. La compleja estructura de las masas (Figura 23) y productos de panificación pueden ser estudiadas con esta técnica donde mediante el uso de fluorocromos se delimita y visualiza la interacción que existe entre la estructura proteica y su composición o puede observarse cada una por separado (Li *et al.*, 2004; Renzetti *et al.*, 2008; Jekle, 2011).

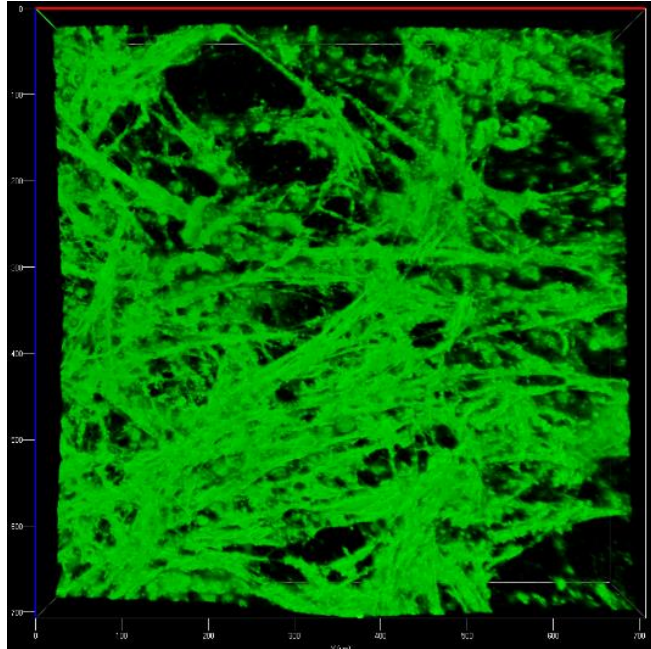


Figura 23. Microscopía confocal laser (CLSM) en masa de pan (Li, 2004)

#### 2.4 Pan libre de gluten

El pan libre de gluten puede ser definido como el producto de panificación elaborado a partir de harinas y/o féculas de cereales, tubérculos o leguminosas ligados con algún hidrocoloide, donde el producto terminado no sobrepase los 20mg/Kg de gluten (Demirkesen, 2014).

Los productos de panificación libres de gluten son diseñados y evaluados con el fin de ofrecer una alternativa a la dieta diseñada para las personas sensibles al gluten, quienes tienen una intolerancia permanente al gluten del trigo (*gliadina*), del centeno (*secalina*), de la cebada (*hordeina*), del triticale y en ocasiones la avena (Meresse *et al.*, 2012).

La World Gastroenterology Organization (WGO) (2012) define a la enteropatía sensible al gluten, enfermedad celiaca o celiaquía como un problema del sistema inmune que afecta principalmente las vellosidades del intestino delgado, provocada por una intolerancia permanente al gluten que afecta a personas con una predisposición genética.

Esencialmente, el intestino de las personas que padecen esta enfermedad identifican a la gliadina como dañina, reaccionando a través de anticuerpos específicos para atacarla. Estos mismos anticuerpos atacan la mucosa intestinal causando inflamación y provocan aplanamiento de las microvellosidades que absorben los nutrientes al organismo. La enfermedad celíaca fue descrita en 1887 por el médico inglés Samuel Gee como una afección que requiere manejo nutricional de por vida.

Con la importante carencia de alimentos en países europeos durante la segunda Guerra Mundial, algunos enfermos mostraban remisión de sus síntomas, los cuales reaparecían al reintroducir el pan en su dieta. Hacia los años 50 con el surgimiento de la endoscopia y la obtención de biopsias del intestino se describió como se atrofiaban de las microvellosidades intestinales.

La enfermedad requiere de dos componentes principales: la exposición al gluten de los alimentos y la susceptibilidad genética que provoca una reacción anormal que daña al propio intestino, ocasionando falta de absorción de los nutrientes y malestar frecuente (Petroca, 2011).

La enfermedad puede presentarse en 3 formas: a) celiacía clásica con diarrea crónica y malabsorción. Representa aproximadamente la mitad de los casos; b) celiacía atípica, donde los pacientes presentan manifestaciones diferentes a diarrea. Los síntomas pueden ser intestinales, o bien presentarse en otros órganos (depresión, convulsiones, neuropatía, abortos repetidos, infertilidad, fatiga crónica, falta de crecimiento en niños, defectos dentales, alteraciones en el hígado).

Esta forma de la enfermedad puede por lo tanto pasar desapercibida por mucho tiempo, atribuyéndose los síntomas a otras enfermedades. Y celiacía silente, que es totalmente asintomática y sólo se descubre por medio de exámenes de sangre que se basan en la medición de los anticuerpos que agreden y dañan el propio intestino. Dichos anticuerpos son indicadores de que la enfermedad está presente, aun cuando no hayan causado un daño aparente (Meresse *et al.*, 2012).

Aguilar (2009) reporta que en la Fundación Clínica Médica Sur, como resultado de un estudio retrospectivo y descriptivo, aplicado de enero de 2009 a junio de 2011, mostro que la prevalencia en México de enfermedad celiaca diagnosticada mediante la determinación de IgA antitransglutaminasa, fue del 4.3%. La prevalencia de esta enfermedad a nivel mundial se encuentra entre el 1-2% (WGO, 2012).

El único tratamiento para la enfermedad celíaca es una dieta exenta de gluten de por vida. Ningún alimento o medicamento que contenga gluten (trigo, centeno y cebada) ni sus derivados, ya que incluso pequeñas cantidades de gluten pueden ser perjudiciales y desencadenar nuevamente los síntomas (Fernández-Feo *et al.*, 2013).

#### 2.4.1 Ingredientes usados en la elaboración de productos libres de gluten

De acuerdo al “Codex Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten”, (2008); se considera a un alimento libre de gluten aquel que está preparado únicamente de uno o más ingredientes que no contienen trigo, centeno, cebada, avena o sus variedades, o que el nivel de gluten no supere los 20 mg/Kg en total.

Dentro de los ingredientes utilizados para la elaboración de productos de panificación se encuentran las harinas y/o féculas de algunos cereales, leguminosas, semillas y tubérculos (Schober *et al.*, 2008; Renzetti *et al.*, 2008; Moroni *et al.*, 2009; Onyango *et al.*, 2011; Sakac *et al.*, 2011; Matos, 2012; Cappa *et al.*, 2013; Dermirkesen *et al.*, 2014) que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Ingredientes usados en productos libres de gluten

Cereales	Semillas	Leguminosas	Tubérculos
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	Amaranto ( <i>Amaranthus ssp.</i> )	Soya ( <i>Glycine max</i> )	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Chia ( <i>Salvia hispánica</i> )	Chícharo ( <i>Pisum sativum</i> )	Mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> )
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	Quínoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> )		Camote ( <i>Ipomoea batatas</i> )

Los ingredientes utilizados para sustituir al trigo y formar una masa cohesiva, necesitan de la incorporación de un aditivo que pueden ser hidrocoloides, como el caso de la Carboximetilcelulosa (CMC) o la Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Estos aditivos imitan las propiedades funcionales del trigo como la retención de CO<sub>2</sub> para el volumen y la formación de la miga de los productos de panificación libres de gluten (Lazaridou *et al.*, 2007; Sciarini *et al.*, 2012; Mariotti *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2014).

Los almidones son algunas de las fuentes de carbohidratos más abundantes en los alimentos, están compuestos por amilosa y amilopectina que son cadenas poliméricas de glucosa. En presencia de agua y calor los almidones son gelatinizados, perdiendo su cristalinidad y organización estructural. La gelatinización se efectúa cuando el gránulo absorbe agua hinchándose, y la organización cristalina es desarreglada irreversiblemente (Vaclavik, 2014).

El agua inicialmente se introduce en la zona amorfa del gránulo, conectándola con la zona cristalina. Las moléculas de amilosa comienzan a filtrarse de los gránulos mientras son desorganizadas por presión y la viscosidad aumenta formando un gel. La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones se encuentra dentro del intervalo de 60 a 80 °C (Fennema, 2000).



## Almidones pregelatinizados

Son almidones que han sido sometidos a un tratamiento térmico modificando sus propiedades funcionales. La extrusión es un proceso en el cual se somete el alimento a altas presiones, controlando la humedad y temperatura (Ming-Chih *et al.*, 2009). Este proceso hidrotérmico tiene influencia en el cambio estructural del almidón y pueden ser utilizados sin cocción incrementando el índice de absorción de agua fría (Pongjaruvat *et al.*, 2014). Los almidones pregelatinizados han sido estudiados en la formulación de productos libres de gluten ya que junto con los hidrocoloides influyen en la formación de masas y pastas semilíquidas para la elaboración de pan que estabilizan la estructura de la miga y pueden retrasar la retrogradación (Houben *et al.*, 2012).

### 2.4.4 Productos disponibles en el mercado libres de gluten



Figura 24. Logotipo “libre de gluten

Actualmente en el mercado se ofrecen gran variedad de productos libres de gluten, no solo para las personas que padecen la enfermedad celiaca. Estos productos suelen identificarse por el logotipo “libre de gluten” (Figura 24) que certifica a las empresas que los producen. Pueden encontrarse pastas alimentarias, galletas, harinas para pasteles, harinas para pan de molde, snacks, entre los productos que regularmente se elaboran con trigo y deben a él sus parámetros de calidad.

### III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el desarrollo de productos de panificación libres de gluten, ha sido un reto para la industria de los alimentos, donde sus parámetros de calidad son deficientes comparados con los de trigo al carecer de la red de gluten, quién otorga la suavidad y esponjosidad en el producto final.

Las personas con enfermedad celiaca, al estar obligados a llevar una dieta exenta de gluten de por vida, requieren de alternativas para el consumo de productos que son elaborados con trigo donde dominan las pastas, galletas, pasteles y pan.

Los productos libres de gluten son elaborados con fuentes alternas al trigo, donde destacan harinas y/o almidones de algunos cereales, semillas y tubérculos. Actualmente cultivos como la *Oxalis tuberosa* son considerados como subcultivos o cultivos marginados autoconsumo y producción a pequeña escala a pesar de ser más nutritiva comparada con la papa blanca (*Solanum tuberosum*).

Por lo tanto, se busca elaborar un producto de panificación (pan blanco de caja y pan dulce tipo concha) apto para el consumo de personas celiacas (libre de gluten) en base a un tubérculo no convencional, *Oxalis tuberosa*, como propuesta alterna de su uso.

### IV. HIPOTESIS

La incorporación de harina pregelatinizada de Oca (*Oxalis tuberosa*) mejora la calidad de productos de panificación libre de gluten como pan de caja y pan dulce tipo concha.

## V. OBJETIVOS

### V.I Objetivo general

Elaborar y caracterizar pan blanco de caja y pan dulce tipo concha libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*.

### V.II Objetivos específicos

- Obtener y caracterizar la harina de *Oxalis tuberosa* y pregelatinizarla con proceso de extrusión.
- Analizar la calidad de la masa y producto terminado con diversas técnicas: análisis de perfil de textura, prueba de extensibilidad, prueba de tenacidad con el sistema Dough Inflation.
- Desarrollar y caracterizar física y químicamente el pan blanco de caja y dulce tipo concha libres de gluten usando mezcla de almidones y harina de Oca pregelatinizada.
- Estudiar la estructura de la masa y de la miga del producto terminado mediante análisis de imagen por microscopia electrónica de barrido (ESEM) y microscopia confocal laser (CLSM).
- Realizar una evaluación sensorial afectiva del producto final.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Obtención de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

Los tubérculos de *Oxalis tuberosa* se obtuvieron del mercado local del municipio de Acaxochitlan, Hgo. Se seleccionaron, lavaron y pesaron. Posteriormente se pelaron y cortaron en rebanadas de 2mm, se colocaron en charolas con papel encerado y deshidratadas en un horno convencional a 70 °C durante 12h (Hathorn *et al*, 2008). Las hojuelas de papa deshidratada fueron trituradas en un molino de cuchillas IKA MF 10.1 y tamizadas en una malla No. 35. La harina obtenida fue almacenada en bolsas herméticas de polietileno.

Para la pregelatinización se utilizó un extrusor Beuterspacher de 1.5 HP y 220V de tornillo sencillo. Se acondiciono la harina nativa a 30% de humedad relativa, se ajustaron los parámetros de extrusión con 55 °C de entrada, 65 °C de cocción y 75 °C de salida con una velocidad de 55 RPM con un dado circular de 3mm. El producto extrudido fue molido y tamizado en una malla No. 35 (Della Valle *et al*, 1995).

### 6.2 Formulaciones de pan de caja y pan dulce tipo concha libres de gluten

Las formulaciones de pan de caja se muestran en la Tabla 9 y la concha en la Tabla 10 donde de acuerdo a la base panadera (Gisslen, 2011), el testigo de trigo (TTR) se elaboró con harina de trigo 44% (Tres estrellas) y en el testigo libre de gluten (TGF) se sustituyó la harina de trigo por una mezcla de harinas y almidones denominada “base seca”. La base seca (Figura 25) de las formulaciones libres de gluten consiste en: a) harina de arroz 14% (Tres estrellas), b) almidón de maíz 12% (Maizena), c) almidón de papa 7.5% (Fabpsa), d) almidón de tapioca 9% (Fabpsa) y e) Wellence Gluten Free 1.5% (DOW) compuesto principalmente por Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (Carola Cappa *et al*. 2013; DOW, 2014).

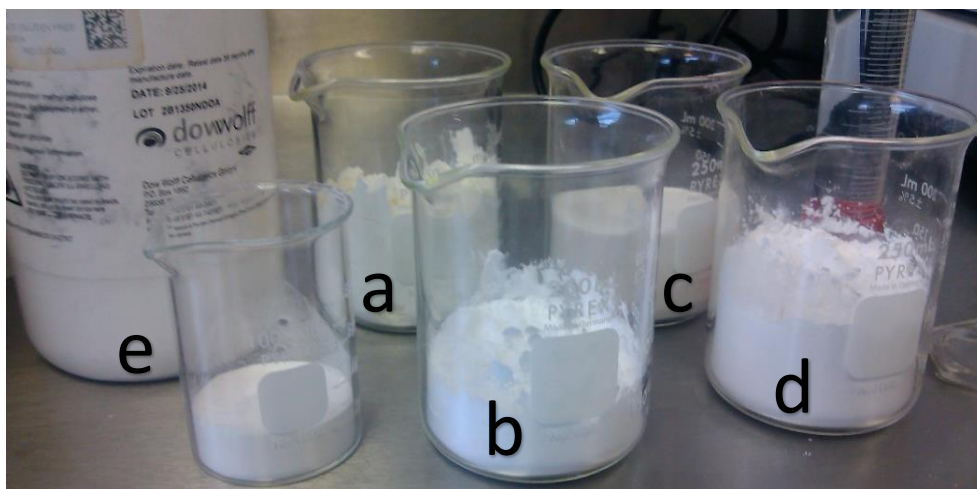


Figura 25. Ingredientes de base seca libre de gluten

Tabla 9. Formulación para pan de caja con trigo y libre de gluten

Ingrediente	Cantidad	%
Harina de trigo o base seca libre de gluten	250g	44%
Albúmina	20g	3.65%
Azúcar	20g	3.65%
Leche en polvo	20g	3.65%
Aceite vegetal	17mL	3.25%
Levadura	7.5g	0.45%
Sal	2.5g	1.35%
Agua	220mL	40%

Tabla 10. Formulación para concha con trigo y libre de gluten

<b>Ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Masa		
Harina de trigo o base seca libre de gluten	250g	44%
Mantequilla	62.5g	11%
Huevo deshidratado	25g	4.5%
Leche	62.5mL	11%
Vainilla	2.5mL	0.45%
Sal	2.5g	0.45%
Azúcar	62.5g	11%
Levadura	7.5g	1.5%
Agua	90mL	16%
Cobertura		
Harina de trigo o base seca libre de gluten	250g	33.33%
Azúcar glass	250g	33.33%
Manteca vegetal	250g	33.33%

### 6.3 Diseño de los tratamientos

El diseño de los tratamientos consistió en un testigo de trigo y un testigo libre de gluten y cuatro tratamientos donde se sustituyó el almidón de maíz por harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada en la base seca. De acuerdo a lo reportado por Hernández-Lauzardo *et al.* (2004) el almidón de maíz y el almidón de *O. tuberosa* presentan comportamientos similares. La Tabla 11 muestra el diseño de los tratamientos utilizada en este estudio.

Tabla 11. Diseño de los tratamientos

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
Harina de trigo	44%	0%	0%	0%	0%	0%
Almidón de maíz	0%	12%	9%	6%	3%	0%
Harina de <i>O. tuberosa</i> pregelatinizada	0%	0%	3%	6%	9%	12%

TTR: Testigo elaborado con trigo  
TGF: Testigo libre de gluten

### 6.4 Elaboración de pan

Para la elaboración del pan con trigo se siguió el método esponja-masa (Bennion, 1967). Primero se hizo la esponja hidratando la levadura con un poco de harina, agua y azúcar hasta obtener una pasta. A la par se incorporan los demás ingredientes de acuerdo al siguiente origen: ingredientes secos, materias grasas y finalmente ingredientes líquidos, incluida la esponja. Una vez incorporados los ingredientes se amasan hasta alcanzar el máximo desarrollo de gluten y la consistencia de la masa, adquiriendo todas sus características viscoelásticas. Después del amasado se fermentó la masa durante 2h en un ambiente cálido (30 °C) y con humedad relativa del 75%. Una vez terminado el proceso de fermentación se poncha la masa, se pesa y se porciona en partes iguales.

En el caso del pan de caja se coloca en los moldes previamente engrasados y enharinados, para la concha se coloca en charolas. Después que la masa ha sido moldeada se deja levar durante una hora más, se coloca la cobertura a las conchas, y finalmente se hornea a 180 °C con vapor en un horno convencional durante 20min (Figura 26).

La elaboración de los panes libres de gluten sigue el mismo procedimiento que el pan de trigo, con algunos ajustes de acuerdo a lo reportado por Cappa *et al.* (2013) donde una vez que se incorporan los ingredientes y se forma la masa, se moldea, se deja fermentar en un ambiente cálido (30 °C) y con humedad relativa del 75% durante 1h hasta que incremente su volumen antes del agrietamiento de la superficie. Pasado ese tiempo la superficie comenzara a agrietarse lo que tendrá como consecuencia el colapso y fractura de la corteza del pan. Una vez concluido el tiempo se hornea a 180 °C con vapor en un horno convencional.



Figura 26. Pan de caja y concha

#### 6.5 Análisis químico proximal en harinas y producto terminado

La composición químico proximal de las harinas (nativa y pregelatinizada) y el producto terminado (pan de caja y concha) donde se determinó humedad por air oven method (AOAC 925.10, 1999), cenizas por ashing method (AOAC 923.03, 1999), grasa por Soxhlet method (AOAC 920.85, 1999), proteína por Kjendal method (AOAC 951.03, 1999), fibra cruda por gravimetric method (AOAC 985.29, 1999) y carbohidratos asimilables por diferencia, todas las determinaciones se realizaron por triplicado.



## 6.6 Análisis de perfil de textura para masas y producto terminado

Para el análisis de perfil de textura (APT) 25g de masa fueron comprimidos de su medida original 20% de deformación con una sonda de 36 mm de diámetro (TA-AACC36) en un texturómetro CT3 Brookfield Texture Analyzer (Figura 27) equipado con una celda de carga de 4.5Kg, una velocidad constante de 0.5mm/s y un tiempo de reposo de 5s entre las dos compresiones. Para las curvas de fuerza-distancia, los parámetros de textura se muestran como: dureza (N), el pico máximo de la curva durante la primera compresión, se define como la fuerza necesaria para comprimir la muestra hasta la deformación establecida, expresado en términos sensoriales se traduce como la suavidad de la masa. La cohesividad es la relación entre la fuerza de la segunda compresión entre la fuerza de la primera compresión, se define como fuerza de los enlaces internos que componen el cuerpo del producto; en términos sensoriales se interpreta como la tendencia de la muestra a regresar a su forma original después de aplicar la fuerza de compresión, en productos de panificación se expresa como esponjosidad.



Figura 27. APT en masas y pan

La adhesividad (mJ), el área bajo la curva, se define como la fuerza de adhesión de la masa y la elasticidad se refiere a la altura que la muestra recupera durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda compresión, correlacionado con la esponjosidad de la masa (Bourne, 1978).

En las pruebas realizadas a los panes de caja y concha se redujo el porcentaje de compresión a 5% a causa que la dureza de las muestras sobrepasa los 4.5Kg de carga si se aumenta la deformación. Los demás parámetros son los mismos utilizados en las masas. Las pruebas se realizaron por triplicado.

### 6.7 Extensibilidad de masas

La extensibilidad de la masa es 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 7.93g de harina y 0.2g de sal (NaCl), se amasaron con 5mL de agua destilada, después se colocó en una prensa por un periodo de 45min, la masa fue colocada entre dos placas del Kieffer rig (Figura 28) 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 se muestran como: extensibilidad, la distancia hasta la ruptura y resistencia máxima, fuerza máxima detectada como indicador de resistencia de la masas (Kieffer *et al.*,1998).



Figura 28. Extensibilidad de masa

## 6.8 Tenacidad de masas (Alveógrafo)

La prueba de tenacidad de masas por alveógrafo consiste en someter a la masa a una presión de aire constante formando una burbuja. Este proceso reproduce la deformación de la masa cuando es sujeta al dióxido de carbono durante la fermentación. Esta prueba se realizó acoplando el aditamento D/R Dough Inflation System al TA.XTplus Texture Analyser Stable Micro System (Figura 29), la cual consiste en elaborar una masa con 250g de base seca (harina de trigo o libre de gluten) y solución salina al 2.5%. Amasar durante 8min y dividir la masa en 5 partes (90g) extender hasta obtener un grosor de 12mm, cortar un disco y colocarlo en un anillo de prensado dejando reposar por 20min (AACC 54-30, 2000). Una vez transcurrido el tiempo, correr la prueba colocando el disco en el aditamento utilizando los parámetros del software Exponent para TA.XT plus *Texture Analyser Dough Inflation 2 test*.



Figura 29. Sistema Dough Inflation

El alveógrafo mide las características reológicas esenciales de la masa: masa tenacidad, la aptitud para resistir la deformación (P); extensibilidad de la masa, el volumen máximo de aire que la burbuja es capaz de contener (L); configuración de la curva (P/L); resistencia al horneado de la masa, la superficie bajo la curva (W).

De acuerdo al parámetro W las harinas se clasifican en débiles  $W < 200$  utilizadas en pastelería y galletería,  $200 < W < 300$  harinas de calidad panadera y  $W > 300$  harinas usadas en pastas alimentarias (CHOPIN Technologies, 2014). Esta prueba se realizó en el laboratorio de análisis especiales del CiCyTA.

#### 6.9 Volumen y densidad del producto terminado

Para este parámetro, se empleó el método de desplazamiento de semillas (AACC 10-05, 2000). Para la densidad se pesó el producto terminado y posteriormente se utilizó la siguiente fórmula para determinar la densidad expresada en  $\text{g/cm}^3$  (Sánchez-Pardo *et al.*, 2012):

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

#### 6.10 Color en miga y corteza


El color es uno de los parámetros de calidad más importantes en un alimento, el consumidor emite un juicio inicialmente por la vista para los productos de panificación donde la corteza obtiene su color dorado característico durante el horneado mediante la reacción de Maillard. La determinación de color se realizó por medio de un colorímetro Minolta CM-508d, que utiliza el sistema internacional CIELAB, el cual considera las desviaciones entre blanco y negro (luminosidad), rojo a verde y amarillo a azul, dando los parámetros  $L^*a^*b$  (AACC 14-22.01, 2000).

#### 6.2.8 Evaluación sensorial

Se realizó una evaluación sensorial, donde se aplicó una prueba afectiva, estas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante un producto, indicando si le gusta o le disgusta, estas pruebas se clasifican en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación (Anzaldúa, 2005).

La evaluación sensorial se desarrolló con una prueba de aceptación con 80 jueces consumidores y se evaluó el testigo de trigo (TTR), el testigo libre de gluten (TGF) y el tratamiento 2 (T2), el cual fue elegido de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos reológicos, mediante una escala hedónica de cinco puntos: un punto a "me disgusta mucho" y de cinco puntos para el "me gusta mucho". Los panelistas fueron jóvenes de entre 19 y 25 años de edad. Se llevó a cabo en el taller de granos y semillas del Instituto de Ciencias Agropecuarias. El formato de evaluación se muestra en la Figura 30.

Tulancingo Hgo. a 04 de Marzo de 2015  
 Maestría en Ciencia de los Alimentos



Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_

Marque con una X en el lugar que indique su opinión acerca de la muestra

ESCALA	791	826	183
Me gusta mucho	___	___	___
Me gusta	___	___	___
Ni me gusta ni me disgusta	___	___	___
Me disgusta	___	___	___
Me disgusta mucho	___	___	___

Comentarios:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

¡Gracias!

Figura 30. Formato de evaluación sensorial

### 6.12 Análisis de imagen

Para determinar la calidad de la miga se realizó con un corte en el centro del producto y se toma una imagen con una cámara *Fuji fine pix S* de 12 mega pixeles y analizándolas con el software *Digimizer Image Analysis 4.3.0*, se divide el corte en cuadrantes de 1cm<sup>2</sup> y se calcula área total (mm<sup>2</sup>), área de las celdas (mm<sup>2</sup>), % de fase dispersa, área promedio de las celdas (mm<sup>2</sup>), número de celdas por cm<sup>2</sup> y área celda/área total (Totosaus *et al.*, 2013).

### 6.13 Microscopia electrónica de barrido ambiental (ESEM) en masas

Las masas del TTR, TGF y T2 fueron liofilizadas antes de ser analizadas, esta técnica de microscopia no requiere que la muestra sea tratada químicamente. Las muestras fueron escaneadas con un haz de electrones enfocado (5.00kV) en un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) (Figura 31) Quanta 3D FEG, FEI inc. Hillsboro USA a 120X y 1000X (Barrera *et al.*, 2013).



Figura 31. Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM)

### 6.14 Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) en masas y producto terminado

La preparación de las muestras consistió en el uso de dos fluorocromos: fluoresceína 5-isotiocinato al 0.5% (FITC; Sigma Chem Co, St. Louis, MO, USA) que tiene fijación con la parte proteica y rhodamina B (Sigma Chemicals) al 0.15% que tiene fijación con los carbohidratos. Primero se añadió heparina a la muestra durante 5min para inhibir la autofluorescencia, se realizó un lavado con agua destilada y se tiñó con 3mL de fluoresceína durante 10min. Se realizó un segundo lavado y se tiñó la muestra con rhodamina, se dejó en la oscuridad durante 5min y se enjuago nuevamente con agua destilada.

Se colocó la muestra sobre papel filtro y se secó en una estufa a 25°C hasta eliminar el exceso de agua. Las longitudes de onda de excitación fueron 488 y 518nm para FITC y Rhodamine B respectivamente y la máxima emisión fue de 568 a 625nm para ambas tinciones (Díaz-Ramírez *et al.*, 2013). Las muestras fueron estudiadas usando un microscopio confocal de barrido laser (Figura 32) LMS 710; Carl Zeiss, Oberkochen, Baden-Württemberg, Alemania con lentes de 20X con el objetivo de conocer los componentes principales e interacciones entre proteínas y almidones.



Figura 32. Microscopio confocal de barrido laser

#### 6.15 Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de varianza ANOVA en la fase experimental de harinas, masas y producto terminado con una confiabilidad del 95%. Si se encontraron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de comparación múltiple de *Tukey* ( $P > 0.05$ ) mediante el uso de software *SigmaPlot 12.0*.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis químico proximal de las harinas nativa y pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

La Tabla 12 muestra que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la composición químico proximal de las harinas nativa y pregelatinizada. Puede observarse un decremento en los parámetros de humedad ( $5.48\% \pm 0.13$ ), cenizas ( $3.63\% \pm 0.12$ ), proteínas ( $15.70\% \pm 0.36$ ), fibra ( $2.21\% \pm 0.15$ ) y grasa ( $1.89\% \pm 0.39$ ) de la harina nativa respecto a la pregelatinizada donde se encontraron valores de ( $3.75\% \pm 0.12$ ) para humedad, ( $3.21\% \pm 0.08$ ) para cenizas, ( $6.03\% \pm 0.15$ ) para proteínas, ( $0.19\% \pm 0.01$ ) para grasa y ( $1.66\% \pm 0.21$ ) para fibra. En la harina de *O. tuberosa* pregelatinizada incrementa la concentración de carbohidratos ( $85.15\% \pm 0.26$ ) encontrando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) comparado con la harina nativa ( $71.06\% \pm 0.22$ ). De acuerdo con lo reportado por Cajamarca (2010) la harina de *Oxalis tuberosa* que fue sometida a la a un tratamiento de secado en exposición al sol y posteriormente deshidratado alcanzó un contenido proteico de 9.8%, en este caso el tratamiento hidrotérmico de extrusión que se dio para pregelatinizar la harina nativa tuvo efecto principalmente en la disminución de proteínas, donde posiblemente exista una desnaturalización e hidrolisis de las bases nitrogenadas a consecuencia de la alta presión de cizalla que se presenta en el extrusor, además del aumento de carbohidratos asimilables.

El tratamiento hidrotérmico de extrusión eleva el índice de absorción de las harinas y eleva la hidratación de las masas libres de gluten (Martínez, 2012). La extrusión resulta un método rápido para la pregelatinización de harina comparado con la inmersión y cocción en agua (Toufeili *et al.*, 1994). La harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada arrojo un contenido proteico similar a la obtenida con camote (*Ipomoea batatas*) mediante secado convencional (Yadav *et al.*, 2006).



Tabla 12. Análisis químico proximal en harinas nativa y pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

Harina de <i>Oxalis tuberosa</i> Nativa	Harina de <i>Oxalis tuberosa</i> pregelatinizada
Humedad %	
5.48 <sup>a</sup> ±0.13	3.75 <sup>b</sup> ±0.12
Ceniza %	
3.63 <sup>a</sup> ±0.12	3.21 <sup>b</sup> ±0.08
Proteínas %	
15.70 <sup>a</sup> ±0.36	6.03 <sup>b</sup> ±0.15
Grasa %	
1.89 <sup>a</sup> ±0.39	0.19 <sup>b</sup> ±0.01
Fibra %	
2.21 <sup>a</sup> ±0.15	1.66 <sup>b</sup> ±0.21
Carbohidratos asimilables %	
71.06 <sup>a</sup> ±0.22	85.15 <sup>b</sup> ±0.26

<sup>a,b</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

## 7.2 Análisis de perfil de textura de masas para pan de caja y concha

La Tabla 13 muestra los resultados del análisis de perfil de textura de la masa para pan de caja, la dureza es el parámetro de textura que se ve afectado principalmente por la ausencia de gluten, en general, existen diferencias significativas (P<0.05) de la masa testigo de trigo que resulta ser la de menor dureza (2.29N±0.14) comparada con las libres de gluten. Sin embargo, el tratamiento 2 es el que presenta la menor dureza de las masas libres de gluten para pan de caja (5.06N±0.06). En el parámetro de adhesividad los tratamientos libres de gluten resultaron ser más adhesivos (P<0.05) comparados con el de trigo (0.60±0.08), esto puede deberse que la formulación de la base seca libre de gluten contiene casi es su totalidad almidones. A diferencia de la masa con trigo, al carecer de gluten las otras masas presentan un comportamiento de masas quebradas, esto es corroborado en el parámetro de cohesividad donde la masa no tiende a regresar a su forma original una vez que se ha retirado la fuerza de compresión, característica que otorga el gluten al trigo.

Puede observarse que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la masa testigo y las libres de gluten donde las segundas ni siquiera tienden a recuperar un 50% de su forma. Para el parámetro de elasticidad no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

Tabla 13. Análisis de perfil de textura para masas de pan de caja libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Dureza (N)</b>	2.29 <sup>e</sup> ±0.14	9.32 <sup>c</sup> ±0.10	11.04 <sup>b</sup> ±0.15	5.06 <sup>d</sup> ±0.06	13.52 <sup>a</sup> ±0.17	10.49 <sup>b</sup> ±0.17
<b>Cohesividad</b>	0.83 <sup>a</sup> ± 0.09	0.34 <sup>b</sup> ±0.06	0.34 <sup>b</sup> ±0.074	0.27 <sup>b</sup> ±0.01	0.314 <sup>b</sup> ±0.17	0.353 <sup>b</sup> ±0.35
<b>Adhesividad(mJ)</b>	0.60 <sup>a</sup> ±0.08	0.96 <sup>b</sup> ±0.07	1.46 <sup>b</sup> ±0.678	0.94 <sup>b</sup> ±0.39	0.78 <sup>b</sup> ±0.13	0.87 <sup>b</sup> ±0.34
<b>Elasticidad</b>	0.98 <sup>a</sup> ±0.02	0.98 <sup>a</sup> ±0.01	0.96 <sup>a</sup> ±0.01	0.97 <sup>a</sup> ±0.02	0.97 <sup>a</sup> ±0.01	0.98 <sup>a</sup> ±0.00

<sup>a,b,c,d,e</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

### 7.3 Análisis de perfil de textura de masas para concha

La Tabla 14 muestra los resultados del análisis de perfil de textura de la masa para concha, al igual que el pan de caja, para el parámetro de dureza la masa elaborada con trigo ( $1.2N \pm 0.09$ ) es menos dura que las libres de gluten. El T2 es el que presenta una dureza menor ( $2.66N \pm 0.13$ ) comparada con los demás tratamientos libres de gluten, esto puede deberse a la incorporación del 6% de harina de *O. tuberosa* pregelatinizada en sustitución de almidón de maíz mantiene una interacción más estable con la Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), los demás almidones de la base seca y el resto de los ingredientes que componen la masa dulce. En general, la masa dulce es más suave que la masa de pan de caja a consecuencia de la gran cantidad de ingredientes que la componen donde las grasas y proteínas anexas disminuyen la dureza. En el parámetro de adhesividad los tratamientos libres de gluten resultaron ser más adhesivos ( $P < 0.05$ ) comparados con el de trigo ( $0.60mJ \pm 0.11$ ), siendo el T1 el más adhesivo ( $1.61mJ \pm 0.32$ ) esto puede deberse que la formulación de la base seca libre de gluten contiene un alto contenido de almidones y la ausencia de gluten no retiene la misma cantidad de humedad. En el parámetro de cohesividad el testigo de trigo resulto ser mayor ( $0.87 \pm 0.13$ ) comparada con los demás tratamientos ( $P < 0.05$ ) encontrando que fue disminuyendo conforme se adicionaba harina de *O. tuberosa* pregelatinizada, siendo el T4 el de menor cohesividad ( $0.41 \pm 0.01$ ). Para el parámetro de elasticidad no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos.

En general puede observarse que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre la masa testigo y las libres de gluten, aunque comparadas con la masa de pan de caja, las masas dulces son más cohesivas, lo que podría predecir que el producto terminado fuera más esponjoso. Se ha estudiado que la incorporación de concentrados proteicos como *Lupinus* y *Jatropha*, modifican los parámetros de textura con relación a una masa elaborada con trigo aumentando la dureza, posiblemente porque la naturaleza de estas proteínas con el gluten no permitan su pleno desarrollo quedando adheridas a la red. (Totosaus *et al.*, 2013).

Tabla 14. Análisis de perfil de textura para masas de concha libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Dureza (N)</b>	1.21 <sup>a</sup> ±0.09	3.25 <sup>c</sup> ±0.13	4.17 <sup>d</sup> ±0.04	2.66 <sup>b</sup> ±0.13	4.66 <sup>e</sup> ±0.13	5.46 <sup>f</sup> ±0.24
<b>Cohesividad</b>	0.87 <sup>a</sup> ±0.13	0.53 <sup>b</sup> ±0.01	0.54 <sup>b</sup> ±0.06	0.46 <sup>b</sup> ±0.02	0.45 <sup>b</sup> ±0.01	0.41 <sup>b</sup> ±0.01
<b>Adhesividad(mJ)</b>	0.60 <sup>c</sup> ±0.11	1.38 <sup>ab</sup> ±0.25	1.61 <sup>a</sup> ±0.32	1.06 <sup>abc</sup> ±0.17	1.15 <sup>abc</sup> ±0.15	0.80 <sup>bc</sup> ±0.18
<b>Elasticidad</b>	0.98 <sup>a</sup> ±0.00	0.98 <sup>a</sup> ±0.02	0.97 <sup>a</sup> ±0.02	0.98 <sup>a</sup> ±0.01	0.95 <sup>a</sup> ±0.01	0.96 <sup>a</sup> ±0.02

a,b,c,d,e Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

Datos comparables en el parámetro de dureza se encuentran en un estudio realizado por Brites *et al.* (2010), quien realizó pan libre de gluten a base de maíz encontrando valores para la dureza de la masa en promedio de 24.5N sin la incorporación de aditivos, mostrando que sin su uso se obtienen masas duras. El desarrollo de los productos libres de gluten implica el uso de fuentes alternas al trigo, cebada, centeno, triticale y en ocasiones avena, como lo son harinas y/o féculas de maíz, yuca, papa, sorgo, arroz, pseudocereales, harinas pregelatinizadas, gomas e hidrocoloides que solas o mezcladas han servido de parámetro inicial en la elaboración de productos de panificación libres de gluten.

Por otra parte, la mayoría de los estudios realizados para pan de caja son en base a pasta semilíquida (batter) que impide medir las propiedades de textura al comportarse más como un líquido y no como un fluido viscoelástico, debido a eso, los estudios se limitan en su mayoría a pan de caja y no productos como la concha u otro tipo de pan que requiera ser formado. (Toufeili *et al.*, 1994; Gallagher *et al.*, 2003; Moore *et al.*, 2004; Lazaridou *et al.*, 2007; Schober *et al.*, 2008; Moroni *et al.*, 2009; Demirkesen *et al.*, 2010; Mezaize *et al.*, 2010; Sciarini *et al.*, 2010; Brites *et al.*, 2010; Onyango *et al.*, 2011; Milde *et al.*, 2012; Matos *et al.*, 2012; Sciarini *et al.*, 2012; Ziobro *et al.*, 2013; Mariotti *et al.*, 2013; Cappa *et al.*, 2013; Pongjaruvat *et al.*, 2014; Mohammadi *et al.*, 2014; Demirkesen *et al.*, 2014).

#### 7.4 Extensibilidad de masa para pan de caja y concha

La Tabla 15 muestra los resultados de extensibilidad de la masa para pan de caja, la extensibilidad del testigo de trigo (TTR) ( $33.94\text{mm}\pm 0.73$ ) presentó un incremento de más del 100% comparado con los tratamientos libres de gluten ( $P < 0.05$ ), donde puede observarse que las masas libres de gluten resultan ser muy quebradizas encontrando en el T3 una extensibilidad de  $11.23\text{mm}\pm 0.42$ . Al carecer de glutenina (proteína responsable de dar elasticidad a la masa) la resistencia a la tensión que tiene es mínima (Pérez Fierros, 2011).

La Tabla 16 muestra los resultados de extensibilidad de la para concha, a diferencia del pan de caja, en la masa dulce la extensibilidad disminuye, lo cual puede atribuirse a que el mayor número de ingredientes intervienen en la estructura, incluso en el trigo la adición de ingredientes extra como grasas y otros carbohidratos irrumpen en la red y la hacen menos extensible ( $20.30\text{mm}\pm 0.32$ ). En el caso de las masas libres de gluten la fuerza de adhesión ejercida por los hidrocoloides (HPMC) no es suficiente para dar al sistema una mayor resistencia a la tensión.

Estudios realizados por Al-Saleh (2012), muestran que para la extensibilidad de masas elaboradas con harinas de trigo débil se encuentran en un intervalo de 12 a 20mm que lo correlaciona con la masa dulce de trigo e incluso las masas libres de gluten para pan de caja de los tratamientos. Sin embargo, una harina de fuerza muestra extensibilidad de 23 hasta 35 mm (Jekle, 2011) que le permitirá posteriormente un boleado sin deformaciones y una buena expansión durante el horneado. Por otra parte en un estudio realizado por Schober *et al.* (2008) en masas libres de gluten elaboradas con zeína, almidón de maíz e Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) se observaron extensibilidades de hasta 37mm, que comparados en este trabajo son mayores posiblemente a cantidad de hidrocoloide adicionado, aunque este parámetro no garantiza la formación de una masa cohesiva.

Tabla 15. Extensibilidad para masas de pan de caja libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Extensibilidad (mm)</b>	33.94 <sup>a</sup> ±0.73	16.34 <sup>b</sup> ±0.37	13.12 <sup>c</sup> ±0.64	12.39 <sup>cd</sup> ±0.37	11.23 <sup>d</sup> ±0.42	12.48 <sup>cd</sup> ±0.49
<b>Resistencia Máx. (g/mm<sup>2</sup>)</b>	862.39 <sup>a</sup> ±11.77	98.36 <sup>c</sup> ±2.44	100.21 <sup>c</sup> ±3.78	127.28 <sup>b</sup> ±6.07	100.81 <sup>c</sup> ±9.18	108.78 <sup>bc</sup> ±6.91

<sup>a,b,c,d</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

Tabla 16. Extensibilidad para masas de pan de caja libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de *Oxalis tuberosa*

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Extensibilidad (mm)</b>	20.30 <sup>a</sup> ±0.32	8.16 <sup>b</sup> ±0.17	8.17 <sup>b</sup> ±0.02	8.19 <sup>b</sup> ±0.11	5.35 <sup>b</sup> ±0.16	5.04 <sup>b</sup> ±0.10
<b>Resistencia Máx. (g/mm<sup>2</sup>)</b>	325.47 <sup>a</sup> ±9.65	67.06 <sup>b</sup> ±2.10	50.57 <sup>c</sup> ±5.83	52.66 <sup>c</sup> ±1.49	21.17 <sup>d</sup> ±1.20	42.06 <sup>c</sup> ±2.23

<sup>a,b,c</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

## 7.5 Tenacidad de masas (base seca) sistema Dough Inflation

Dentro de las pruebas mecánicas de extensión biaxial donde la fuerza de expansión esta en dos direcciones perpendiculares en el mismo plano (Dobraszczyk, 2003; Dobraszczyk, 2008) se encuentra el sistema Dough Inflation.

La resistencia al horneado de la harina ( $W$ ) es una propiedad física correlacionada con el contenido proteico del trigo (Boinot *et al.*, 2014), lo que indica que los parámetros de dicha prueba delimitan la calidad de la harina de trigo, donde muestra que: harinas con  $W < 200$  considerados débiles,  $300 > W > 200$  son harinas de calidad panadera y  $W < 300$  son harinas para pasta alimentaria. Las mezclas de harinas libres de gluten (base seca) fueron analizadas mediante esta técnica y comparadas con los estándares de trigo, la relación que existen entre los parámetros P,L y W indica que no existe un equilibrio entre ellos y posiblemente predecir un producto de bajo volumen.

La Tabla 17 muestra los resultados de la tenacidad de la base seca (trigo y mezclas libres de gluten). Tomando como referencia a CHOPIN Technologies la harina de trigo usada como testigo se encuentra en los estándares de una harina panadera ( $221.48 J \cdot 10^4 \pm 15.08$ ) al encontrarse en el intervalo de  $300 > W > 200$ . Si se toma esto como punto de comparación solo las harinas libres de gluten T3 ( $287.93 J \cdot 10^4 \pm 28.94$ ) y T4 ( $287.94 J \cdot 10^4 \pm 4.39$ ) entran en este intervalo, aunque no existe un equilibrio entre P/L, por lo que sería recomendable utilizarlas para pastas de acuerdo con este criterio. Cabe aclarar que no existe una metodología concisa para esta técnica en harinas libres de gluten y dicho experimento se toma para masas que contengan gluten, sin embargo el punto de comparación con el trigo da un panorama del comportamiento de la muestra y su posible predicción en el comportamiento del desarrollo del producto final.



Tabla 17. Tenacidad de base seca libre de gluten utilizando harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada por sistema Dough inflation

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Tenacidad (P) mm</b>	184.58 <sup>e</sup> ± 4.56	475.45 <sup>c</sup> ±19.07	368.73 <sup>d</sup> ±10.20	444.06 <sup>c</sup> ±17.28	515.11 <sup>b</sup> ±4.09	630.82 <sup>a</sup> ±17.90
<b>Extensibilidad (L) mm</b>	41.24 <sup>c</sup> ± 6.80	75.18 <sup>b</sup> ±2.76	136.46 <sup>a</sup> ±14.36	121.82 <sup>a</sup> ±1.91	12.48 <sup>d</sup> ±0.29	12.48 <sup>d</sup> ±0.47
<b>Trabajo de deformación (W) Joules* 10<sup>4</sup></b>	221.48 <sup>e</sup> ± 15.08	523.56 <sup>c</sup> ±8.72	887.32 <sup>b</sup> ±4.44	1255.19 <sup>a</sup> ±19.97	287.93 <sup>d</sup> ±28.94	287.94 <sup>d</sup> ±4.39
<b>Configuración de la curva P/L</b>	4.55 <sup>d</sup> ±0.70	06.33 <sup>c</sup> ±0.35	2.71 <sup>e</sup> ±0.21	3.64 <sup>de</sup> ±0.17	41.27 <sup>b</sup> ±0.76	50.54 <sup>a</sup> ±0.73

<sup>a,b,c,d,e</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

## 7.6 Corte de pan de caja y concha

En la figura 33 y 34 muestran el pan de caja y concha de los distintos tratamientos, donde puede observarse de primera instancia que existe una disminución en el volumen, el color y la estructura de la miga.

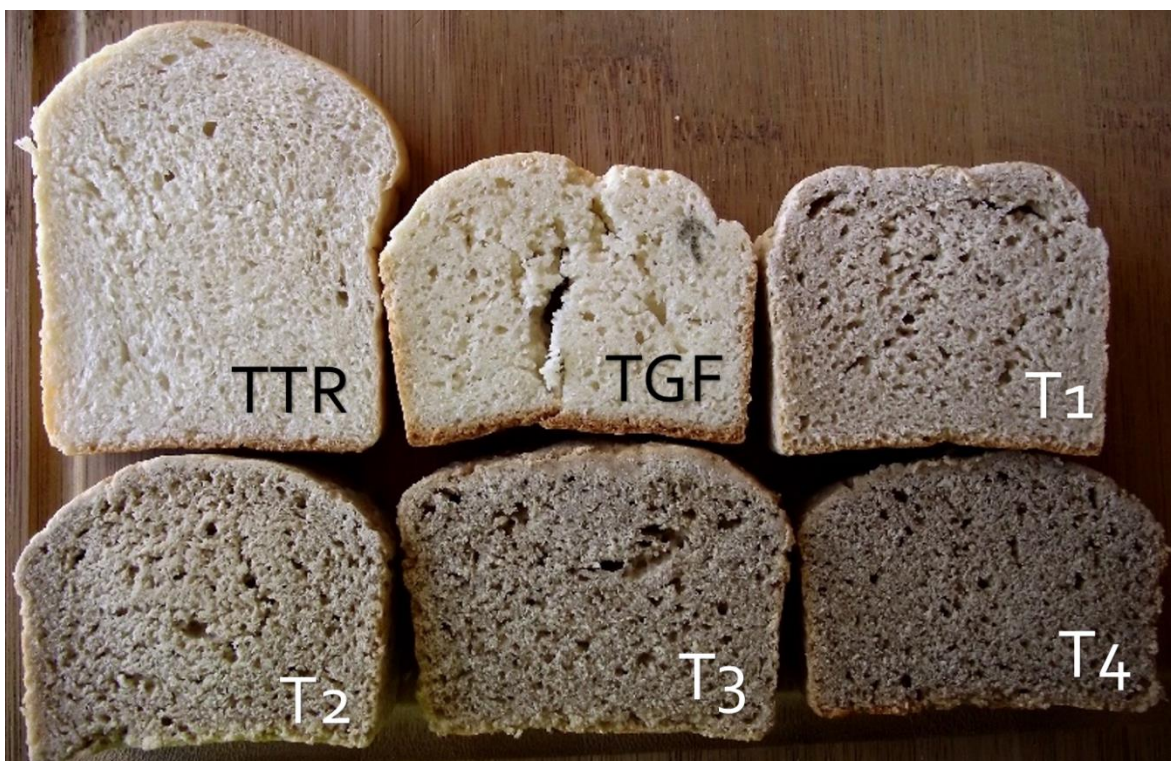


Fig. 36. Corte de pan de caja

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

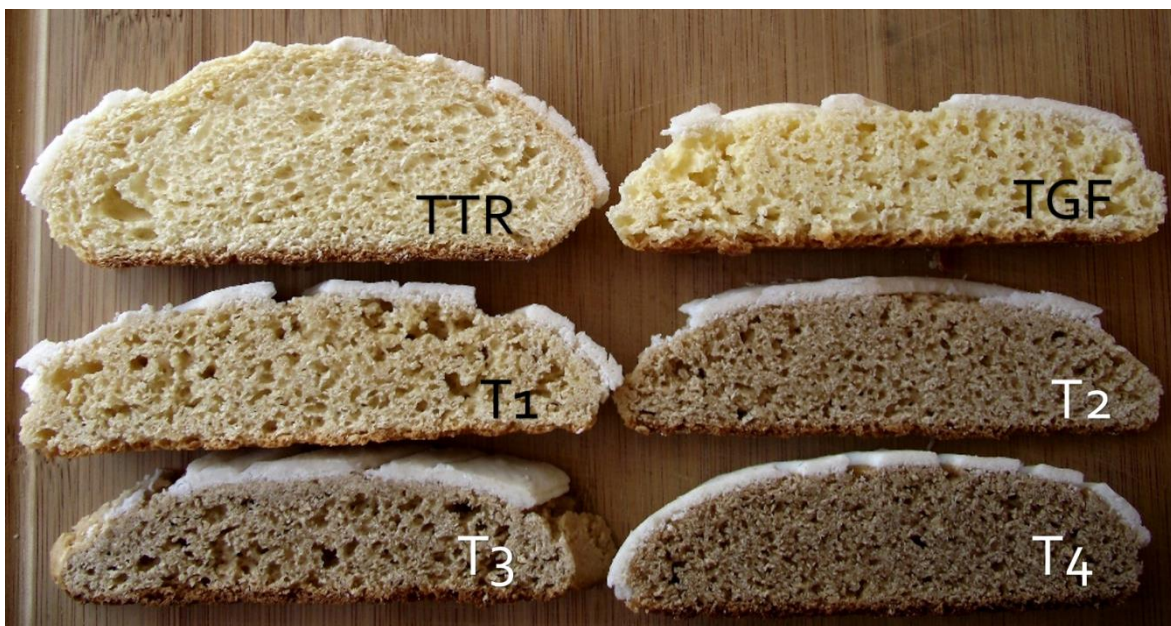


Fig. 34. Corte de concha

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP.

#### 7.7 Volumen y densidad del pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

La Tabla 18 muestra los resultados del volumen y densidad del pan de caja donde puede observarse que entre la masa elaborada con trigo ( $2.80g \pm 0.10$ ) y las libres de gluten existen diferencias significativas  $P < 0.050$  entre la pérdida de peso con respecto al producto final a excepción de T2 ( $2.13g \pm 0.32$ ).

En cuanto al volumen el testigo de trigo ( $146.00 \text{ cm}^3 \pm 11.54$ ) tiene un crecimiento mayor con respecto a los demás tratamientos a causa de una mayor retención de  $\text{CO}_2$  producto de la fermentación y la expansión durante el horneado.

Tabla 18. Volumen y densidad del pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Peso masa (g)</b>	50.30	50.06	50.00	50.10	50.36	50.16
	± 0.10	±0.05	±0.00	±0.00	±0.57	±0.57
<b>Peso pan (g)</b>	47.50	45.36	46.00	47.96	46.86	45.89
	± 0.10	±0.32	±0.15	±0.32	±0.25	±0.08
<b>Diferencia (g)</b>	2.80 <sup>d</sup>	4.70 <sup>a</sup>	3.93 <sup>bc</sup>	2.13 <sup>d</sup>	3.50 <sup>c</sup>	4.27 <sup>ab</sup>
	± 0.10	±0.34	±0.15	±0.32	±0.30	±0.13
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	146.0 <sup>a</sup>	93.33 <sup>b</sup>	80.00 <sup>bc</sup>	63.33 <sup>cd</sup>	53.33 <sup>d</sup>	50.00 <sup>d</sup>
	±11.54	±11.54	±0.00	±5.77	±5.77	±0.00
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.325 <sup>d</sup>	0.492 <sup>c</sup>	0.576 <sup>c</sup>	0.761 <sup>b</sup>	0.885 <sup>ab</sup>	0.918 <sup>a</sup>
	±0.02	±0.06	±0.00	±0.06	±0.08	±0.00
<b>Correlación Volumen/ Densidad</b>	0.982	0.998	0.994	0.998	0.997	0.999

<sup>a,b,c,d</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

La densidad del producto tiene una estrecha correlación con el volumen al observarse que son inversamente proporcionales. En las masas libres de gluten la principal problemática, al no contar con una red proteica que atrape el CO<sub>2</sub> generado en la fermentación, el volumen es limitado y la estructura de la miga es inestable, incluso puede llegar al agrietamiento como se observa en la imagen del testigo libre de gluten (Figura 36). En este caso, para el pan de caja, la densidad del producto fue en aumento conforme se sustituía el almidón de maíz con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada.

### 7.8 Volumen y densidad de concha adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

La tabla 19 muestra los resultados del volumen y densidad de la concha donde puede observarse que entre la masa elaborada con trigo ( $3.60\text{g} \pm 0.00$ ) y las libres de gluten existen diferencias significativas  $P < 0.050$  entre la pérdida de peso con respecto al producto final. Solo entre los tratamientos T1 ( $6.10\text{g} \pm 0.10$ ) y T3 ( $6.23 \pm 0.05$ ) y entre los tratamientos TGF ( $5.43\text{g} \pm 0.05$ ), T2 ( $5.26\text{g} \pm 0.11$ ) y T4 ( $5.60\text{g} \pm 0.00$ ) no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

En cuanto al volumen el testigo de trigo tiene un crecimiento mayor con respecto a los demás tratamientos lo que se ve reflejado en el producto terminado y va disminuyendo considerablemente conforme se adiciona harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada en las masas libres de gluten, encontrándose diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre todos los tratamientos teniendo el TTR ( $120.00\text{cm}^3 \pm 0.00$ ) con el mayor volumen y el T4 ( $50.00\text{cm}^3 \pm 0.00$ ) donde además existe una correlación del 0.99 para todos los tratamientos donde la densidad del producto es inversamente proporcional.

Tabla 19. Volumen y densidad de la concha adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Peso masa (g)</b>	50.36	50.10	50.30	50.00	50.10	50.30
	± 0.50	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00
<b>Peso pan (g)</b>	46.76	44.66	44.20	44.73	43.86	44.70
	± 0.05	±0.05	±0.10	±0.11	±0.05	±0.00
<b>Diferencia (g)</b>	3.60 <sup>d</sup>	5.43 <sup>bc</sup>	6.10 <sup>a</sup>	5.26 <sup>c</sup>	6.23 <sup>a</sup>	5.60 <sup>b</sup>
	± 0.00	±0.05	±0.10	±0.11	±0.05	±0.00
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	120.00 <sup>a</sup>	100.00 <sup>b</sup>	80.00 <sup>c</sup>	70.00 <sup>d</sup>	60.00 <sup>e</sup>	50.00 <sup>f</sup>
	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.390 <sup>a</sup>	0.447 <sup>b</sup>	0.557 <sup>c</sup>	0.639 <sup>d</sup>	0.731 <sup>e</sup>	0.895 <sup>f</sup>
	±0.01	±0.00	±0.01	±0.01	±0.00	±0.00
<b>Correlación Volumen/ Densidad</b>	0.999	0.996	0.999	0.999	0.999	0.999

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey  
OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

Al igual que el pan de caja, la densidad del producto tiene una estrecha correlación con el volumen al observarse que entre mayor sea la densidad del producto menor será el volumen. En este caso la densidad del producto fue en aumento conforme se sustituía el almidón de maíz con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada a la vez que la miga de los panes libres de gluten fue más compacta.

La densidad o el volumen específico indican la relación que existe entre la cantidad de masa con respecto al volumen. Para los productos de panificación resulta ser un parámetro sumamente importante ya que delimita si el producto terminado tiene una estructura porosa que se relaciona directamente con la textura.



Por lo que un pan con una densidad menor a  $0.5 \text{ g/cm}^3$  (volumen específico de  $2 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) (Demirkesen *et al.*, 2010) conservara los parámetros de calidad para un pan levado y en el caso del trigo la incorporación de diversas harinas se ve reflejado en el volumen (Harthon *et al.*, 2008). En diversos estudios la mezcla de diversos almidones y aditivos para la elaboración de productos libres de gluten muestran que este parámetro se ve modificado principalmente con el uso de fuentes proteicas alternas y el uso de distintos hidrocoloides que durante la elaboración tienen el efecto de imitar las propiedades funcionales del trigo y retienen cierta proporción de  $\text{CO}_2$  que se correlaciona directamente con el volumen (Gallagher *et al.*, 2003; Lazaridou *et al.*, 2007; Demirkesen *et al.*, 2010; Brites *et al.*, 2010; Ziobro *et al.*, 2013).

### 7.9 Color en corteza y miga de pan de caja

El color de los productos de panificación (miga y corteza) se desarrolla bajo tres parámetros de medición que son:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Donde el parámetro  $L^*$  representa la luminosidad y  $a^*$  y  $b^*$  representan la saturación y el tono del producto. Siendo  $a^*$  la escala de verde a rojo y  $b^*$  la escala de azul a amarillo (Figura 35).

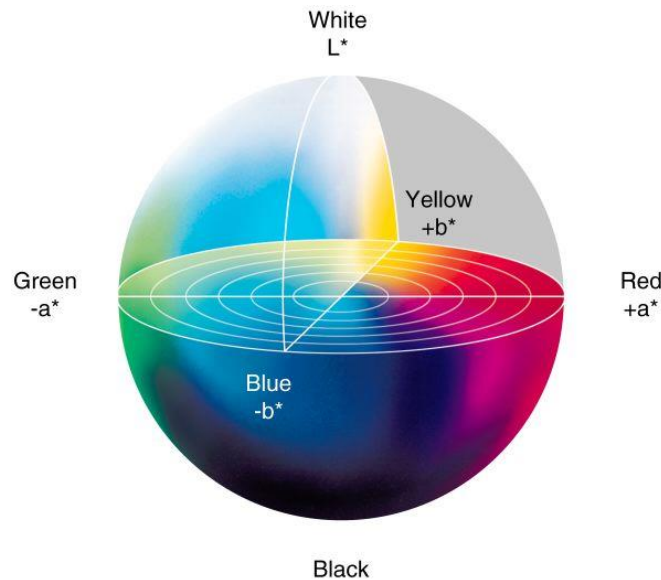


Figura 35. Escala de color de acuerdo con los parámetros  $L^*a^*b$

La Tablas 20 y 21 muestran los resultados del color de la corteza y la miga del pan de caja donde existen diferencias significativas entre todos los tratamientos ( $P < 0.05$ ), la luminosidad (L) y el parámetro  $b^*$  son los principales parámetros en este tipo de productos ya que mide la intensidad con la que la luz es reflejada en una escala de blanco-negro (Ziobro *et al.*, 2013) y el parámetro  $b^*$  determina la intensidad del dorado de la corteza producida por la reacción de Maillard durante la última etapa del horneado. En la miga la pigmentación de la masa se debe a los ingredientes que la componen y se relaciona con el color de las harinas y demás aditivos, este parámetro es uno de los más importantes para el consumidor al juzgar primeramente la apariencia y color de un alimento (Anzaldúa, 2005).

En este caso el color disminuye para los tratamientos libres de gluten conforme va añadiéndose harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. El testigo libre de gluten presento la mayor luminosidad ( $79.60 \pm 0.13$ ) incluso comparado con el testigo de trigo ( $78.62 \pm 0.09$ ) a causa que el color de la materia prima de la base seca (almidones) son de alta luminosidad.

Tabla 20. Color de la corteza del pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

Corteza	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>L</b>	71.59 <sup>a</sup> ± 0.18	81.33 <sup>b</sup> ± 0.08	74.13 <sup>c</sup> ± 0.10	71.95 <sup>d</sup> ± 0.04	72.80 <sup>e</sup> ± 0.04	69.43 <sup>f</sup> ± 0.30
<b>*a</b>	9.82 <sup>a</sup> ± 0.06	1.77 <sup>b</sup> ± 0.00	2.09 <sup>c</sup> ± 0.02	3.64 <sup>d</sup> ± 0.30	2.90 <sup>e</sup> ± 0.05	2.27 <sup>f</sup> ± 0.01
<b>*b</b>	36.51 <sup>a</sup> ± 0.35	34.74 <sup>b</sup> ± 0.09	36.77 <sup>c</sup> ± 0.11	31.74 <sup>d</sup> ± 0.01	36.63 <sup>c</sup> ± 0.01	37.87 <sup>e</sup> ± 0.08
<b>croma</b>	11.32 <sup>a</sup> ± 0.19	34.96 <sup>b</sup> ± 0.14	36.83 <sup>c</sup> ± 0.11	31.94 <sup>d</sup> ± 0.02	36.55 <sup>c</sup> ± 0.06	37.95 <sup>e</sup> ± 0.07

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada  
 TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP



Tabla 21. Color de miga del pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

Miga	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>L</b>	78.62 <sup>a</sup> ± 0.09	79.60 <sup>b</sup> ±0.13	75.86 <sup>c</sup> ±0.11	72.28 <sup>d</sup> ±0.03	75.19 <sup>e</sup> ±0.06	73.32 <sup>f</sup> ±0.12
<b>*a</b>	2.26 <sup>a</sup> ± 0.05	-0.35 <sup>b</sup> ±0.02	0.65 <sup>c</sup> ±0.01	2.61 <sup>d</sup> ±0.00	1.95 <sup>d</sup> ±0.01	1.46 <sup>e</sup> ±0.02
<b>*b</b>	21.41 <sup>a</sup> ± 0.60	23.28 <sup>b</sup> ±0.09	30.77 <sup>c</sup> ±0.03	29.32 <sup>d</sup> ±0.03	32.40 <sup>e</sup> ±0.01	33.43 <sup>f</sup> ±0.03
<b>chroma</b>	2.59 <sup>a</sup> ± 0.13	23.28 <sup>b</sup> ±0.09	30.77 <sup>c</sup> ±0.02	29.36 <sup>d</sup> ±0.02	32.42 <sup>e</sup> ±0.01	33.64 <sup>f</sup> ±0.02

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada  
 TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

#### 7.10 Color en corteza y miga de concha

La Tablas 22 y 23 muestran los resultados del color de la corteza y la miga de la concha, al igual que el pan de caja existe un cambio de color entre todos los tratamientos ( $P < 0.05$ ), la luminosidad (L) disminuye y el parámetro b\* aumenta para todos tratamientos libres de gluten comparados con el testigo de trigo ( $29.94 \pm 0.02$ ), oscureciéndose conforme se añade harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada.

El color tanto de corteza como miga es un parámetro muy importante en la aceptabilidad del consumidor por el producto (Cappa *et al.*, 2013). El color de la corteza de forma general esta determinado por el horneado ya que por la reacción de Maillard una vez que la corteza se ha deshidratado comienza a otorgar la coloración dorada característica del pan. En la masa dulce, en cambio, Güemes (2002) demostró con un panel de jueces entrenados que el color de la miga con mayor aceptación es un tono amarillo claro a amarillo crema, determinado en el parámetro b\*.

El trigo por si solo es capaz de generar un color dorado con una luminosidad entre 60-80 de acuerdo con la metodología L\*a\*b. con una luminosidad más alta en la corteza, es decir un producto muy claro, el consumidor puede entender que este no ha alcanzado su grado óptimo de cocción, por otra parte si el valor es muy bajo implica que el producto esta sobre cocido.

Por otro lado, se ha encontrado en diversas investigaciones que, con la incorporación de aislados proteicos y harinas de fuentes con alto contenido de fibra, así como una cantidad de gomas que sobrepase del 2%, tiene influencia directa sobre el color de la miga haciéndola más oscura (Gallagher *et al.*, 2003; Hathorn *et al.*, 2008; Ziobro *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2014).

Tabla 22. Color de la corteza de concha adicionada con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

Miga	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>L</b>	80.05 <sup>a</sup> ±0.04	80.66 <sup>b</sup> ±0.17	72.60 <sup>c</sup> ±0.36	68.37 <sup>d</sup> ±0.09	66.69 <sup>e</sup> ±0.10	65.46 <sup>f</sup> ±0.12
<b>*a</b>	2.39 <sup>c</sup> ±0.13	1.85 <sup>c</sup> ±0.13	2.57 <sup>ab</sup> ±0.02	1.94 <sup>c</sup> ±0.08	2.59 <sup>a</sup> ±0.00	2.34 <sup>b</sup> ±0.01
<b>*b</b>	36.17 <sup>d</sup> ±0.51	38.82 <sup>b</sup> ±0.12	38.49 <sup>b</sup> ±0.11	37.73 <sup>c</sup> ±0.17	40.37 <sup>a</sup> ±0.11	38.45 <sup>b</sup> ±0.05
<b>chroma</b>	36.26 <sup>d</sup> ±0.52	38.08 <sup>b</sup> ±0.11	38.58 <sup>b</sup> ±0.11	37.80 <sup>c</sup> ±0.80	40.47 <sup>a</sup> ±0.08	38.48 <sup>b</sup> ±0.02

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada  
 TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

Tabla 23. Color de la miga de concha adicionada con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

Miga	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>L</b>	77.08 <sup>a</sup> ± 0.01	75.35 <sup>b</sup> ±0.09	73.64 <sup>c</sup> ±0.18	71.46 <sup>d</sup> ±0.18	69.28 <sup>e</sup> ±0.13	69.61 <sup>f</sup> ±0.16
<b>*a</b>	-0.32 <sup>a</sup> ± 0.00	-0.74 <sup>b</sup> ±0.04	2.55 <sup>c</sup> ±0.01	0.54 <sup>d</sup> ±0.01	0.97 <sup>e</sup> ±0.01	1.48 <sup>f</sup> ±0.01
<b>*b</b>	29.94 <sup>a</sup> ± 0.02	30.71 <sup>b</sup> ±0.00	33.48 <sup>c</sup> ±0.10	31.03 <sup>d</sup> ±0.14	35.64 <sup>e</sup> ±0.16	34.24 <sup>f</sup> ±0.04
<b>chroma</b>	29.94 <sup>a</sup> ± 0.02	30.14 <sup>a</sup> ±0.02	33.48 <sup>b</sup> ±0.10	31.05 <sup>c</sup> ±0.13	35.64 <sup>d</sup> ±0.16	34.26 <sup>e</sup> ±0.03

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada  
 TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

#### 7.11 Análisis de perfil de textura para pan de caja

La Tabla 24 muestra los resultados del análisis de perfil de textura para el pan de caja. Con una compresión del 5%, en el parámetro de dureza presento diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en todos los tratamientos siendo el testigo de trigo el menos duro ( $3.96N \pm 0.05$ ). Para los panes de caja libres de gluten con el aumento de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada existió una disminución de la dureza con respecto al testigo libre de gluten a partir del tratamiento 2 ( $18.85N \pm 0.09$ ), esto puede deberse a que la masa, al contener diversidad de ingredientes no interactúan entre sí, solo se homogenizan y dan estructura al producto, por lo que al cambiar las condiciones en la formulación pueden provocar un cambio en la textura del producto.

En cambio la cohesividad fue mayor en los panes libres de gluten comparados con el testigo de trigo, siendo el T4 (0.89±0.01) el más cohesivo, seguido de T3, T1 y TGF, T2 y finalmente TTR (0.75± 0.01) que presento menor cohesividad. Esto puede ser provocado por la forma que adopta el pan en la superficie y para ese porcentaje de deformación sea imperceptible para el trigo, además que con esa pequeña compresión el efecto de gomosidad que causa en la corteza de los panes libres de gluten, posiblemente por la acción de los hidrocoloides que otorgan a la masa una sensación gomosa. Para la elasticidad se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05) siendo TTR (0.93±0.01) y T1 (0.95±0.00) los que tienen un índice de elasticidad más alto, seguido de T2 (0.87±0.00) y al final TGF, T3, T4 con los menores valores.

Tabla 24. Análisis de perfil de textura para pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Dureza (N)</b>	3.96 <sup>f</sup> ± 0.05	21.10 <sup>b</sup> ±0.07	25.64 <sup>a</sup> ±0.05	18.85 <sup>c</sup> ±0.09	10.53 <sup>d</sup> ±0.16	9.21 <sup>e</sup> ±0.03
<b>Cohesividad</b>	0.75 <sup>d</sup> ± 0.01	0.86 <sup>bc</sup> ±0.01	0.86 <sup>bc</sup> ±0.01	0.85 <sup>c</sup> ±0.01	0.87 <sup>b</sup> ±0.01	0.89 <sup>a</sup> ±0.01
<b>Adhesividad(mJ)</b>	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00
<b>Elasticidad</b>	0.93 <sup>a</sup> ±0.01	0.60 <sup>e</sup> ±0.01	0.95 <sup>a</sup> ±0.00	0.87 <sup>b</sup> ±0.00	0.81 <sup>c</sup> ±0.01	0.65 <sup>d</sup> ±0.01

a,b,c,d,e,f Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP,

T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

### 7.12 Análisis de perfil de textura para concha

La Tabla 25 muestra los resultados del análisis de perfil de textura para concha, con una compresión del 5%, en el parámetro de dureza presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en todos los tratamientos siendo el testigo de trigo el menos duro ( $4.75N \pm 0.04$ ). La adición de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada aumentó la dureza de la concha siendo el T2 ( $15.64N \pm 0.12$ ) el menos duro seguido de TGF, T3 y T4. La cohesividad fue más constante comparada con el pan de caja, aunque existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) siendo el T2 el más cohesivo ( $0.65 \pm 0.01$ ), seguido de TTR ( $0.62N \pm 0.00$ ) y finalmente TGF, T1, T3 y T4.

Tabla 25. Análisis de perfil de textura para concha adicionada con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Dureza (N)</b>	4.75 <sup>a</sup> ± 0.04	17.45 <sup>b</sup> ±0.17	19.48 <sup>c</sup> ±0.07	15.64 <sup>d</sup> ±0.12	22.88 <sup>e</sup> ±0.07	29.86 <sup>f</sup> ±0.06
<b>Cohesividad</b>	0.62 <sup>b</sup> ± 0.00	0.58 <sup>cd</sup> ±0.01	0.58 <sup>cd</sup> ±0.00	0.65 <sup>a</sup> ±0.01	0.59 <sup>c</sup> ±0.01	0.57 <sup>d</sup> ±0.00
<b>Adhesividad(mJ)</b>	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00
<b>Elasticidad</b>	0.83 <sup>d</sup> ±0.00	0.95 <sup>b</sup> ±0.01	0.90 <sup>c</sup> ±0.00	0.94 <sup>b</sup> ±0.01	0.98 <sup>a</sup> ±0.00	0.96 <sup>b</sup> ±0.00

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP,

T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

En general para los productos de panificación, la dureza o firmeza se considera como uno de los parámetros de calidad más importantes para producto terminado, ya que esta correlacionado inversamente con la vida de anaquel del producto. La pérdida de humedad en los productos libres de gluten indica de acuerdo a estudios realizados por Mohammadi *et al.* (2014); Ziobro *et al.* (2013) sigue un comportamiento lineal al aumentar la dureza en más de un 200% desde su medición inicial hasta las 72h, por lo que su vida útil es relativamente corta.

Por lo que las investigaciones relacionadas con este rubro tienen como uno de sus objetivos el obtener una firmeza inicial baja para que de alguna manera ayude a aumentar su vida de anaquel. Con este objetivo existen estudios donde se realizan distintos tipos de mezclas secas libres de gluten como Onyango *et al.* (2011) quien encontró que una mezcla de almidón de tapioca y harina de sorgo producen un producto más suave comparado con otras mezclas.

Por otra parte el uso de aditivos, como emulsificantes de bases proteicas, enzimas e hidrocoloides han resultado tener buenos resultados en la elaboración de productos libres de gluten; para la formación de la masa, imitan parte de las propiedades funcionales del trigo al retener CO<sub>2</sub> que generara volumen y además su influencia en los parámetros de textura como dureza y cohesividad, que en parámetros sensoriales se traducen como suavidad y esponjosidad. De acuerdo con Dermirkesen *et al.* (2010); Dermirkesen *et al.* (2014); Sciarini *et al.* (2012) el uso de gomas como Carboximetilcelulosa (CMC) e Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) influyen en la obtención de un producto con estructura (calidad de miga), retención de agua y una dureza inicial baja comparada con otros aditivos.

### 7.13 Análisis de imagen para pan de caja

La Tabla 26 muestra los resultados del análisis de imagen para pan de caja. El área promedio de las celdas es de 0.9mm<sup>2</sup> sin existir diferencias significativas (P<0.05) entre ellas, el número de alveolos por cm<sup>2</sup> fue mayor en el testigo de trigo (27.75± 3.68), seguido de TGF, T1 y T4 y finalmente T2 y T3. El testigo libre de gluten presento agrietamientos y fue inestable después del horneado. La inversión de colores permite observar la fase dispersa de la estructura de la miga (Figura 36), observando en color claro la fase compuesta por aire. Si se determina la miga estándar en base al TTR, de acuerdo a los resultados todos los tratamientos libres de gluten se encuentran en el estándar.

Tabla 26. Análisis de imagen para pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Área total (mm<sup>2</sup>)</b>	100.43 <sup>a</sup> ± 0.43	100.69 <sup>a</sup> ±0.21	100.53 <sup>a</sup> ±0.12	100.78 <sup>a</sup> ±0.53	100.62 <sup>a</sup> ±0.10	100.61 <sup>a</sup> ±0.10
<b>Área celdas</b>	21.20 <sup>a</sup> ± 1.83	21.62 <sup>a</sup> ±4.67	23.81 <sup>a</sup> ±3.44	19.90 <sup>a</sup> ±2.81	20.95 <sup>a</sup> ±4.00	18.03 <sup>a</sup> ±1.49
<b>% Fase dispersa</b>	21.10 <sup>a</sup> ± 1.80	21.47 <sup>a</sup> ±4.68	23.68 <sup>a</sup> ±3.41	19.74 <sup>a</sup> ±2.80	20.82 <sup>a</sup> ±3.97	17.92 <sup>a</sup> ±1.47
<b>Área prom. de la celda</b>	0.76 <sup>a</sup> ± 0.08	0.89 <sup>a</sup> ±0.18	1.00 <sup>a</sup> ±0.19	1.04 <sup>a</sup> ±0.10	1.13 <sup>a</sup> ±0.29	0.76 <sup>a</sup> ±1.47
<b>No. Celdas por cm<sup>2</sup></b>	27.75 <sup>a</sup> ± 3.68	24.25 <sup>a</sup> ±1.89	23.75 <sup>ab</sup> ±1.70	19.00 <sup>bc</sup> ±0.81	18.75 <sup>c</sup> ±2.21	23.75 <sup>ab</sup> ±1.89
<b>Área celda/área total</b>	0.007 <sup>a</sup> ± 0.00	0.008 <sup>a</sup> ±0.001	0.010 <sup>a</sup> ±0.001	0.010 <sup>a</sup> ±0.001	0.011 <sup>a</sup> ±0.002	0.007 <sup>a</sup> ±0.00

<sup>a,b,c</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

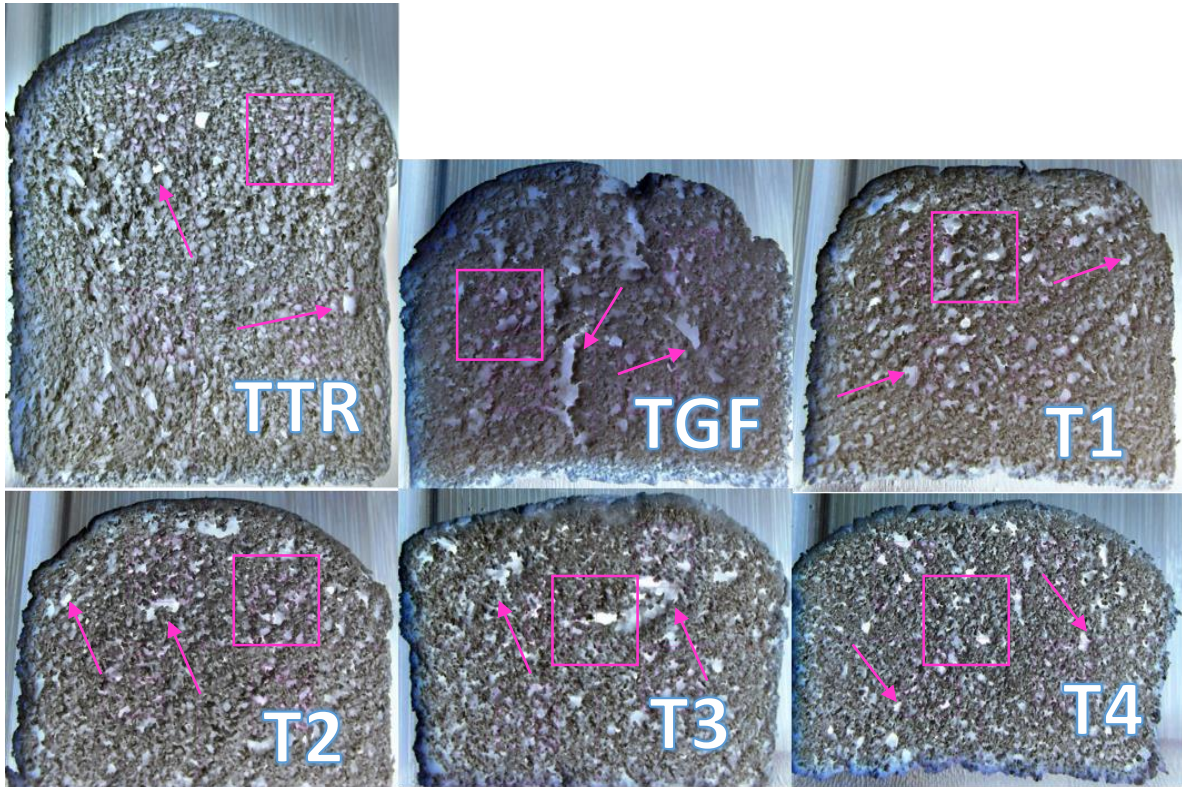


Fig. 36. Pan de caja

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP. Uso de inversión de imagen para observar la fase continua

#### 7.14 Análisis de imagen para concha

La Tabla 27 muestra los resultados del análisis de imagen para la concha. En el área promedio de las celdas existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con un promedio de  $0.99\text{mm}^2$  para TTR, TGF, T1, T2 y T3 comparadas con T4 ( $0.83\text{mm}^2 \pm 0.03$ ) que es menor, el número de alveolos por  $\text{cm}^2$  fue estadísticamente igual para las muestras con un promedio de 19 celdas. Puede observarse que conforme se adiciona harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada la miga es más compacta y cerrada (Figura 37).



Tabla 27. Análisis de imagen para concha adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T1	T2	T3	T4
<b>Área total (mm<sup>2</sup>)</b>	100.55 <sup>a</sup> ± 0.03	100.70 <sup>a</sup> ±0.04	100.80 <sup>a</sup> ±0.13	100.53 <sup>a</sup> ±0.18	100.50 <sup>a</sup> ±0.15	100.58 <sup>a</sup> ±0.14
<b>Área celdas</b>	18.28 <sup>bc</sup> ± 5.29	23.19 <sup>abc</sup> ±1.71	23.78 <sup>ab</sup> ±2.18	23.16 <sup>ab</sup> ±0.73	26.53 <sup>a</sup> ±0.84	16.35 <sup>c</sup> ±1.57
<b>% Fase dispersa</b>	18.18 <sup>bc</sup> ± 5.26	23.02 <sup>abc</sup> ±1.69	23.58 <sup>ab</sup> ±2.13	23.04 <sup>abc</sup> ±0.73	26.34 <sup>a</sup> ±0.85	16.26 <sup>c</sup> ±1.57
<b>Área prom. de la celda</b>	0.94 <sup>ab</sup> ± 0.29	1.22 <sup>ab</sup> ±0.08	1.31 <sup>a</sup> ±0.05	1.14 <sup>ab</sup> ±0.12	1.35 <sup>a</sup> ±0.24	0.83 <sup>b</sup> ±0.03
<b>No. Celdas por cm<sup>2</sup></b>	19.33 <sup>a</sup> ± 0.57	19.00 <sup>a</sup> ±2.64	18.00 <sup>a</sup> ±1.00	20.33 <sup>a</sup> ±1.52	20.00 <sup>a</sup> ±3.00	19.66 <sup>a</sup> ±1.15
<b>Área celda/área total</b>	0.009 <sup>ab</sup> ± 0.002	0.012 <sup>ab</sup> ±0.001	0.013 <sup>a</sup> ±0.000	0.011 <sup>ab</sup> ±0.001	0.013 <sup>a</sup> ±0.002	0.008 <sup>b</sup> ±0.00

<sup>a,b,c</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey  
OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP

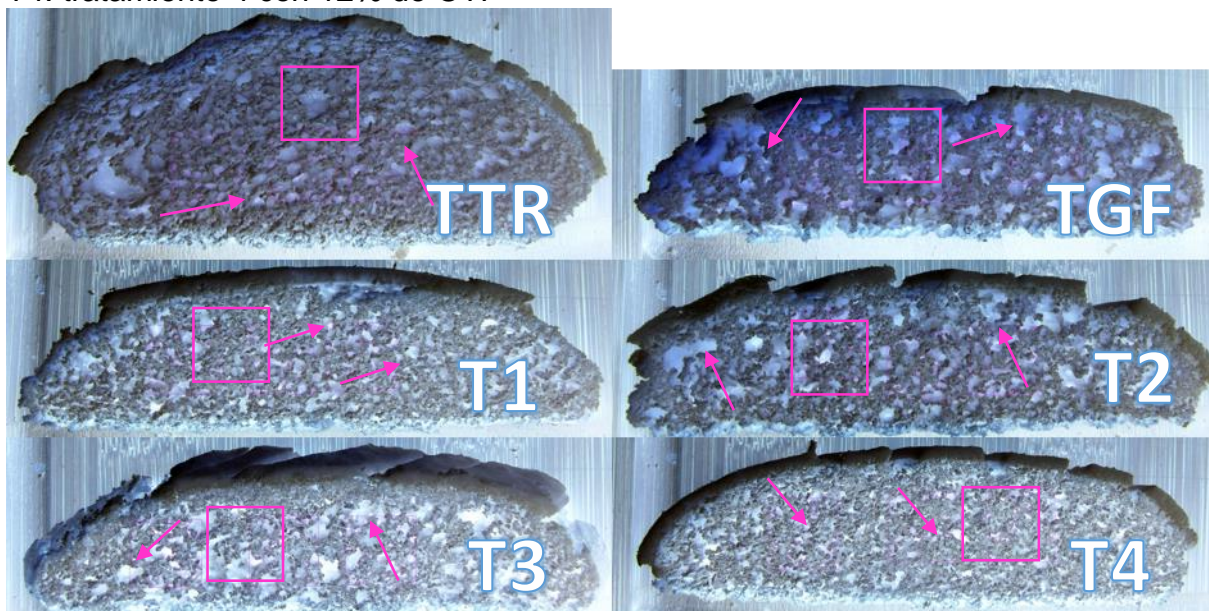


Fig. 39. Pan tipo concha

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada; TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T1: tratamiento 1 con 3% de OTP, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP, T3: tratamiento 3 con 9% de OTP y T4: tratamiento 4 con 12% de OTP. Uso de inversión de imagen para observar la fase continúa

El análisis de imagen es una herramienta que sirve para observar la estructura, en este caso de un alimento a nivel macroestructural (mm) (Kontogiorgos, 2011; Farrera-Rebollo *et al.*, 2012; Pérez-Nieto *et al.*, 2010). Es posible que no pueda existir un estándar de calidad definido de forma global para todos los productos de panificación, ya que cada formulación es distinta y tiene efecto en la estructura. La uniformidad en tamaño y distribución determinan la calidad de la miga de un pan, siendo generalmente los alveolos de 0.75–1.5mm<sup>2</sup> los de tamaño estándar. Diversos estudios como Barrera *et al.* (2008); Sciarini *et al.* (2012); Lagrain *et al.* (2012); Matos *et al.* (2012); Sánchez-Pardo *et al.* (2012); Mariotti *et al.* (2013); Totosaus *et al.* (2013); Pongjaruvat *et al.* (2014); muestran la variación que existe entre la distribución alveolar para productos convencionales y libres de gluten, encontrándose productos que alcanzan el tamaño promedio de 4mm<sup>2</sup> sobre todo cuando son elaborados con pastas semilíquidas. Por otra parte en un estudio realizado por Demirkesen *et al.* (2014) donde evalúa la distribución alveolar y la estructura de panes libres de gluten utilizando diversos hidrocoloides, encontró que la menor porosidad y mayor cantidad de celdas fueron obtenidas con la adición de hidrocoloides como CMC y HPMC relacionados con una estructura fina de la miga (alveolos menores a 0.7mm<sup>2</sup>), donde la dureza y cohesividad fueron correlacionadas con la estructura interna en términos de porosidad, número y tamaño de los alveolos. Es este estudio se observó que los productos libres de gluten con menor dureza y mayor cohesividad tuvieron menor porosidad (fase dispersa), mayor número de alveolos y de menor tamaño; datos que se relacionan directamente con los presentados en esta investigación.

### 7.15 Análisis químico proximal del pan de caja

Una vez realizados los ensayos anteriores se seleccionó el T2 con una sustitución de 6% de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada, además que conserva los valores más cercanos en las propiedades reológicas en masa y producto terminado con el testigo de trigo. La Tabla 28 muestra los resultados del análisis químico proximal para pan de caja. Las proteínas representan el cambio más significativo de los productos. Puede observarse que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las tres muestras siendo el pan de caja elaborado con trigo ( $11.66\%^{a \pm 0.26}$ ) el que contiene mayor contenido proteico, seguido del T2 ( $6.02^{b \pm 0.31}$ ) con un contenido de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada de 6% y finalmente el testigo libre de gluten ( $5.35^{b \pm 0.20}$ ). Esto se debe a que en el TGF y T2, al ser libres de gluten (principal proteína del trigo) el contenido proteico se ve disminuido a la vez que se incrementa el contenido de carbohidratos asimilables.

Tabla 28. Análisis químico proximal para pan de caja adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T2
Humedad %	26.31 <sup>a</sup> ±0.00	25.83 <sup>b</sup> ±0.05	27.37 <sup>c</sup> ±0.01
Ceniza %	1.87 <sup>a</sup> ±0.03	1.81 <sup>a</sup> ±0.08	2.26 <sup>b</sup> ±0.13
Proteínas %	11.66 <sup>a</sup> ±0.26	5.35 <sup>b</sup> ±0.20	6.02 <sup>b</sup> ±0.31
Grasa %	6.70 <sup>a</sup> ±0.13	5.86 <sup>ab</sup> ±0.13	6.20 <sup>b</sup> ±0.23
Fibra %	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00
Carbohidratos asimilables %	53.45 <sup>a</sup> ±0.39	61.14 <sup>b</sup> ±0.19	58.13 <sup>c</sup> ±0.67

<sup>a,b,c</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP. Porcentaje en base de 100g de producto

### 7.16 Análisis químico proximal de concha

La Tabla 29 muestra los resultados del análisis químico proximal para concha. Al igual que el pan de caja puede observarse que las proteínas representan el cambio más notable de los productos. Existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las tres muestras siendo la concha elaborada con trigo ( $9.35\% \pm 0.12$ ) el que contiene mayor contenido proteico, seguido del T2 ( $5.38\% \pm 0.14$ ) con un contenido de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada de 6% y finalmente el testigo libre de gluten ( $4.50\% \pm 0.33$ ).

Esto se debe a que en el TGF y T2, al ser libres de gluten (principal proteína del trigo) el contenido proteico se ve disminuido a la vez que se incrementa el contenido de carbohidratos asimilables (De la Vega, 2009). Es de considerar que la grasa es uno de los componentes más abundantes en este tipo de pan, por la composición de la masa dulce y además por la cobertura característica de la concha.

El testigo de trigo ( $17.08\% \pm 0.04$ ) y el testigo libre de gluten ( $17.09\% \pm 0.17$ ) presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) comparados con el T2 ( $16.60\% \pm 0.23$ ) con un contenido de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada de 6%.

Tabla 29. Análisis químico proximal para concha adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

	TTR	TGF	T2
Humedad %	17.54 <sup>a</sup> ±0.53	16.09 <sup>ab</sup> ±0.22	16.53 <sup>b</sup> ±0.50
Ceniza %	1.55 <sup>a</sup> ±0.02	2.00 <sup>b</sup> ±0.06	1.32 <sup>c</sup> ±0.14
Proteínas %	9.35 <sup>a</sup> ±0.12	4.50 <sup>b</sup> ±0.33	5.38 <sup>c</sup> ±0.14
Grasa %	17.08 <sup>a</sup> ±0.04	17.09 <sup>a</sup> ±0.13	16.60 <sup>b</sup> ±0.23
Fibra %	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00	0.00 <sup>a</sup> ±0.00
Carbohidratos asimilables %	54.58 <sup>a</sup> ±0.59	60.29 <sup>b</sup> ±0.50	60.16 <sup>b</sup> ±0.67

<sup>a,b,c</sup> Indican diferencias significativas (P <0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP. Porcentaje en base de 100g de producto

#### 7.17 Análisis Sensorial: Prueba afectiva escala de 5 puntos

Realizada a 80 jueces consumidores se busca encontrar el nivel de aceptación de cada muestra sin compararlas entre ellas, ya que el juez no conoce la diferencia entre los productos. Solo mide el grado de satisfacción en base una escala estructurada de 5 puntos, donde el valor 1 se refiere a un nivel de “me disgusta mucho” y el 5 a un nivel de “me gusta mucho”. Las Figuras 38 y 39 muestran los resultados de la evaluación sensorial para ambos productos.

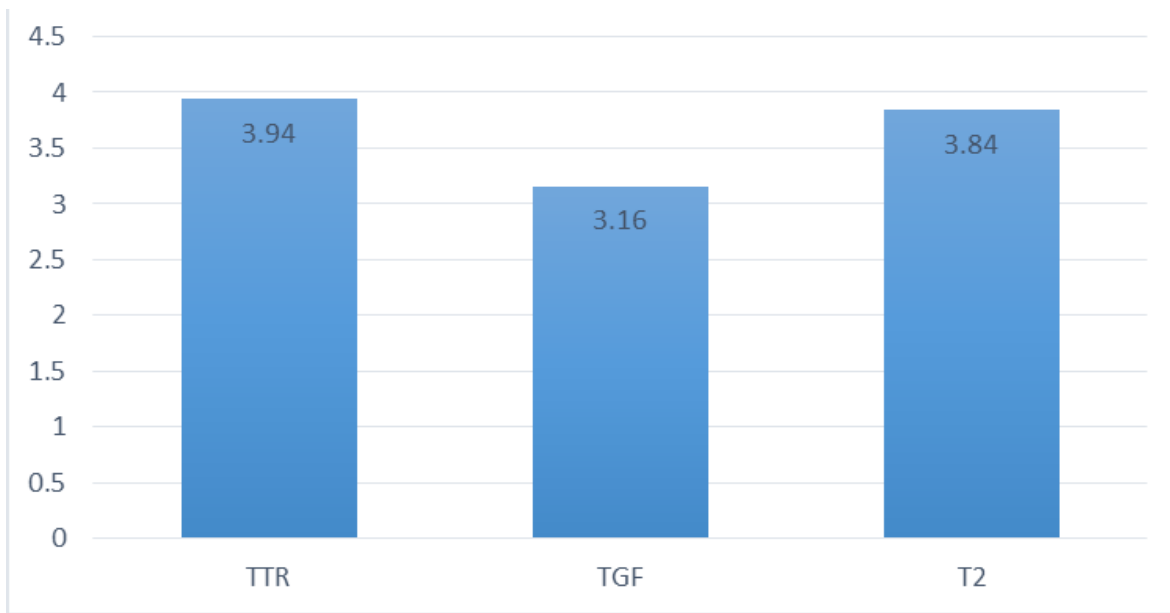


Figura 38. Evaluación sensorial afectiva para pan de caja

<sup>a,b</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP. Porcentaje en base de 100g de producto

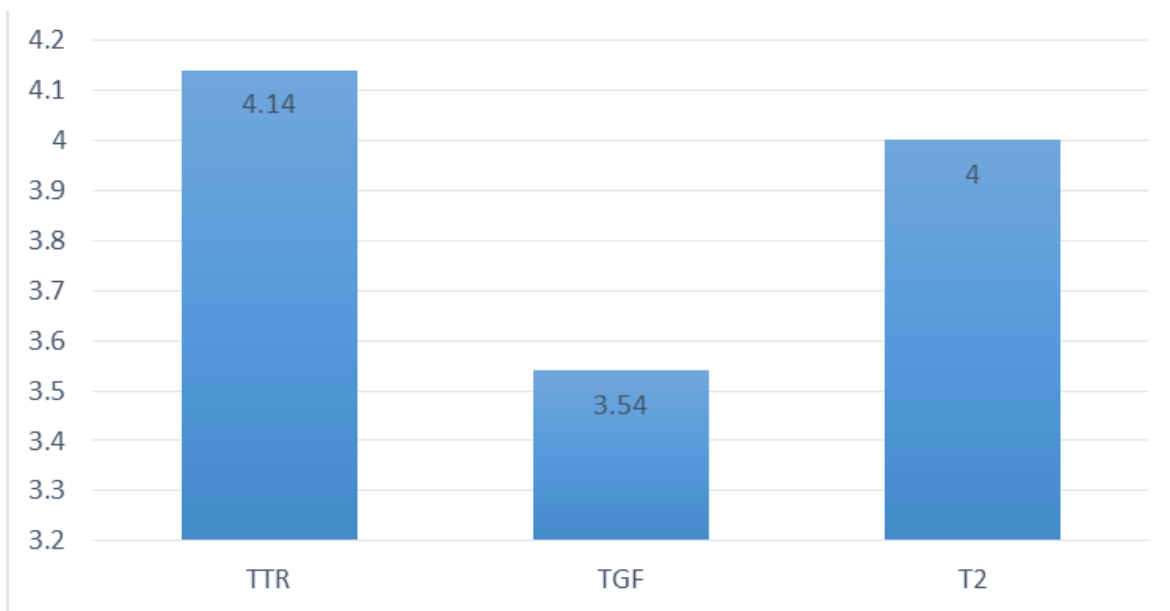


Figura 39. Evaluación sensorial afectiva para concha

<sup>a,b</sup> Indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba de Tukey

OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada

TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP. Porcentaje en base de 100g de producto

Los resultados para ambas pruebas sensoriales muestran que los panes que tuvieron el mayor grado de satisfacción, “me gusta” fueron el TTR y el T2 que contiene un 6% de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. Los jueces consumidores argumentaron que el sabor de estos era similar, aunque juzgaron en parte el color del T2, que era un poco más oscuro, sin embargo refiriéndose al TGF indicaron que las muestras no tenían mucho sabor y además eran demasiado secas. Algunos estudios hechos con un panel sensorial entrenado muestran que la prevalencia de los productos libres de gluten es la falta de aroma, la dureza excesiva y en ocasiones sabores ajenos a un pan donde la aceptación final es inferior al trigo (Brites *et al.*, 2010; Hager *et al.*, 2012). Sin embargo en estudios donde los jueces entrenados y no entrenados padecían celiaquía la prevalencia de la aceptación global de los productos libre de gluten fue muy alta (Milde *et al.*, 2012; Laureati *et al.*, 2012).

#### 7.18 Micro estructura de la masa en pan de caja por ESEM

El análisis de la microestructura por medio de ESEM permite hacer una análisis visual de cómo se comporta e interactúan los ingredientes que conforman la masa (Kontogiorgos, 2011).

En la Figura 40 puede observarse que para la masa con trigo (TTR) existe una formación previa de alveolos y el sistema es estable, comparado con las masas libres de gluten donde el aglomeramiento de los almidones, al carecer de una estructura con la cual interactuar inhibe la expansión del CO<sub>2</sub>. Aunque en el T2 es probable que la cantidad significativa que tiene con respecto al TGF le permita la formación de una estructura pero débil.

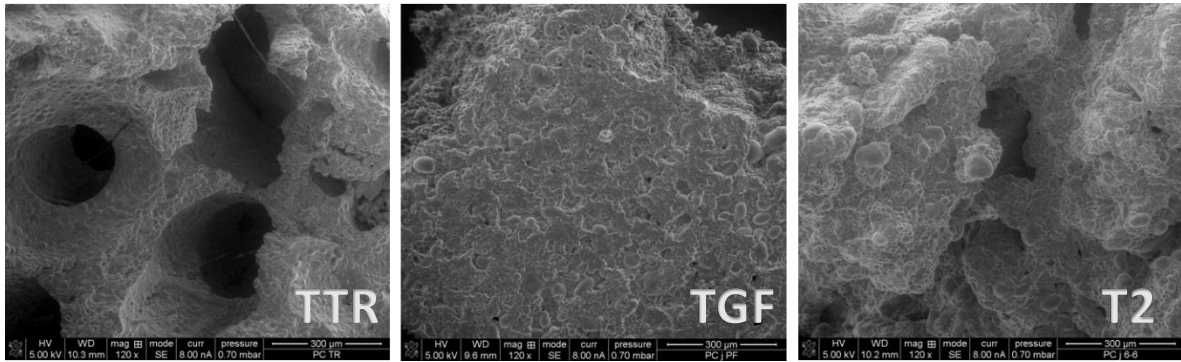


Figura 40. Microscopia electrónica de barrido de masas para pan de caja con 120X. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

La Figura 41 muestra que el aumento a 1000X permite observar minuciosamente la estructura de la masa para la imagen del TTR la red de gluten esta definida (flecha amarilla) y como los demás componentes de la masa interactúan y están dispersos en el sistema (masa) compuesto de tres fases: red proteica (gluten) que atrapa e interactúa con los almidones (flecha naranja) y retiene el CO<sub>2</sub> generado en la fermentación (Scanlon, 2001). Las masas libres de gluten debido a la composición de la base seca tienen una diversidad de tamaños en los almidones, el hidrocoloide sirve para su aglomeramiento pero no forma una estructura definida.

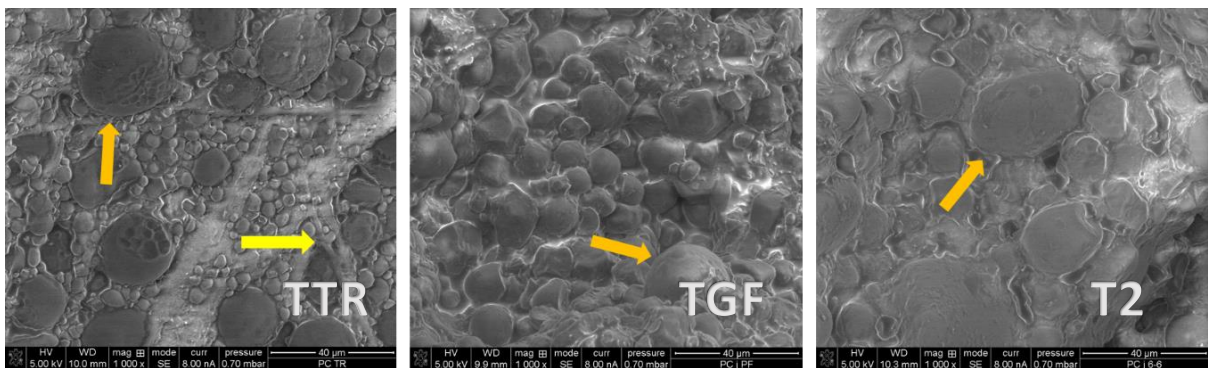


Figura 41. Microscopia electrónica de barrido de masas para pan de caja con 1000X. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.



### 7.19 Micro estructura de la masa en concha por ESEM

En la Figura 42 se muestra que en la masa de concha la microestructura es menos estable, incluso en el trigo a causa de la gran cantidad de ingredientes que contiene y a la vez interfieren en el desarrollo óptimo de la red de gluten. En el T2 se presenta un comportamiento similar comparado con las masas de pan de caja libre de gluten.

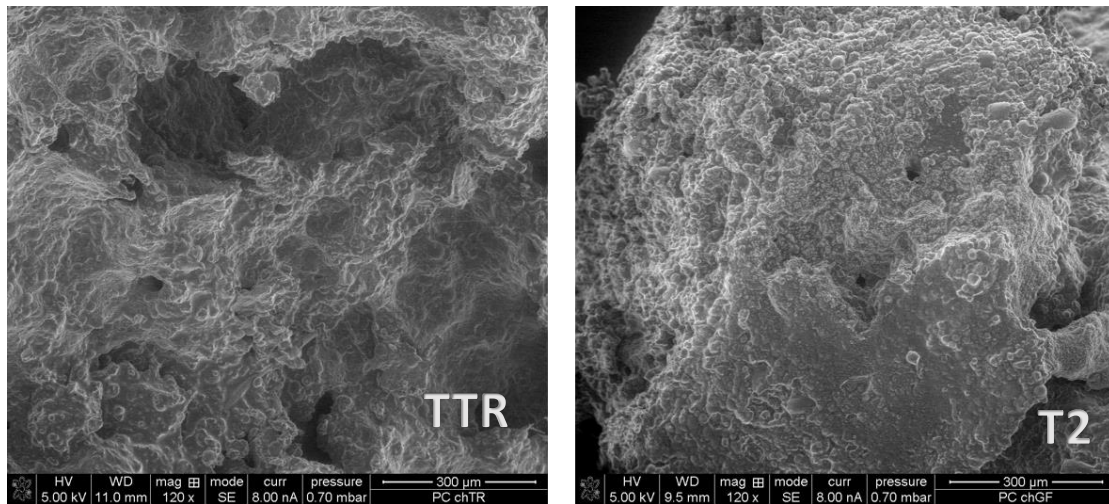


Figura 42. Microscopia electrónica de barrido de masas para concha con 120X. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

Con el aumento a 1000X (Figura 43) en la masa de concha puede observarse que la red de gluten (TTR) no es muy nítida (flecha amarilla), este comportamiento puede ser a causa de la cantidad de materia grasa que la envuelve y a la vez no permite que contenga un desarrollo óptimo, incluso para el T2 interviene en el acoplamiento de la masa donde los gránulos de almidón se aglomeran (flecha naranja) y posiblemente esté tenga una estrecha relación con la poca extensibilidad haciéndola más frágil, que lo correlaciona con la prueba de extensibilidad.

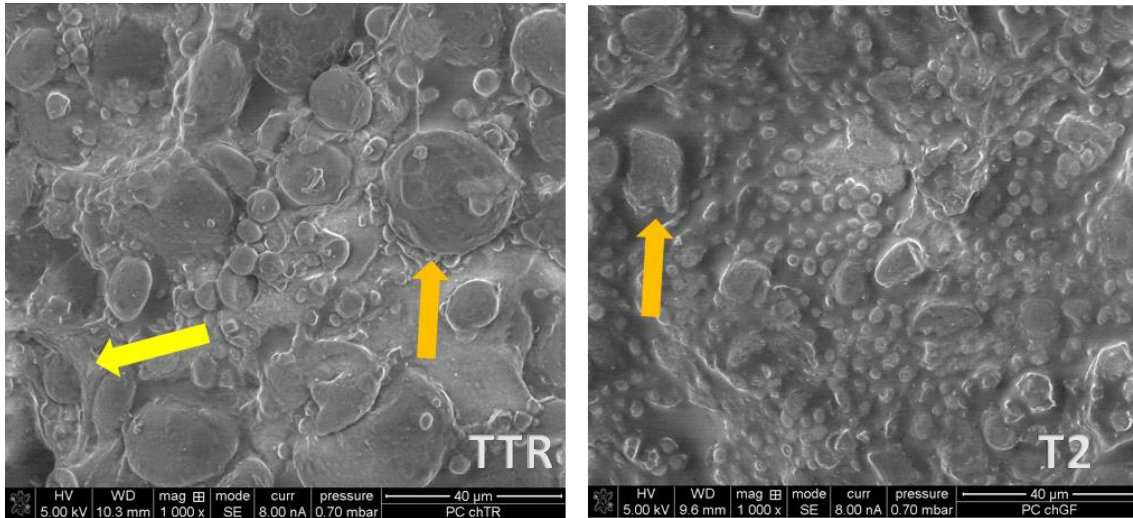


Figura 45. Microscopia electrónica de barrido de masas para concha con 1000X. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

#### 7.20 Micro estructura de la masa en pan de caja y concha por CLSM

El uso de microscopia confocal de barrido laser para la caracterización de sistemas complejos es una poderosa herramienta que permite discernir entre los componentes estructurales (Dürrenberger *et al.*, 2001) en este caso de masa y miga. Consiste en la fijación de un fluorocromo que incite la emisión de fluorescencia de determinados elementos y mediante el uso de microscopia laser se filtre la emisión de luz y transmita una imagen definida del punto focal de la muestra.

Estudios previos muestran como se presenta la interacción entre la compleja estructura de la red de gluten y los almidones, entre otros elementos de la masa, así como en productos libres de gluten, donde permite visualizar el comportamiento interno y relacionarlo con los parámetros estudiados anteriormente como la relación de textura, formación de la miga (alveolos), incluso observar la distribución de los distintos tamaños de almidones para masa libres de gluten y el aglomeramiento que forma la estructura, comparándola con la masa elaborada con trigo (Moore *et al.*, 2004; Baier-Schenk *et al.*, 2005; Li, 2004; Schober *et al.*, 2008; Renzetti *et al.*, 2008; Jekle, 2011; Díaz-Ramírez *et al.*, 2013).

La Figura 44 y 45 muestran las imágenes obtenidas en las masas mediante microscopía confocal de barrido láser. En la figura 44a se puede observar la formación de la red de gluten (verde) en la masa de pan de caja y pueden distinguirse la formación de las “ligas” que otorgan sus propiedades viscoelásticas (A. Baier-Schenk *et al.*, 2005); en rojo se observa la distribución de los carbohidratos en la estructura.

Las Figuras 44b y 44c presentan ausencia casi total en la parte proteica, mientras que los almidones de las masas libres de gluten se aglomeran posiblemente por la interacción con el hidrocoloide que imita la red de gluten (Lazaridou *et al.*, 2007). La Figura 44c permite observar el cambio que existe en la masa libre de gluten adicionada con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada, donde incluso puede visualizarse la formación de alveolos similares a los de la masa del testigo de trigo.

En el caso de las masas de las conchas, la Figura 45a muestra la interacción entre la parte proteica y los almidones. En este tipo de masa el número de ingredientes no permite visualizar la red de gluten tan claramente como la masa del pan de caja. Las figuras 45b y 45c, igualmente que la masa de pan de caja, carecen de parte proteica con estructura.

En cambio los almidones pueden observarse (rojo) aunque de forma más dispersa que las masas del pan de caja lo que puede reflejar que la dureza de las masas dulces libres de gluten son menos duras.

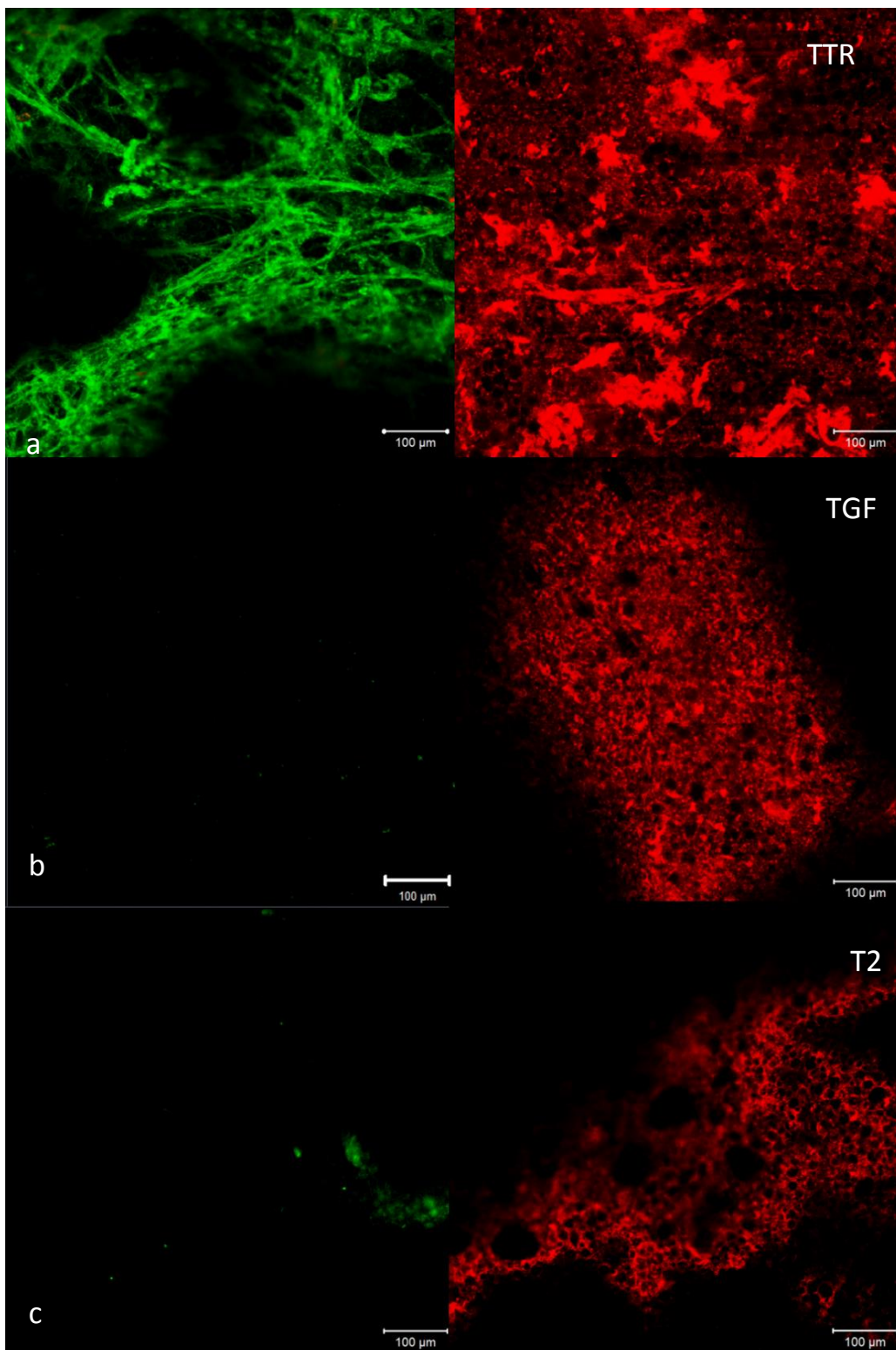


Figura 46. Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) de masas para pan de caja. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

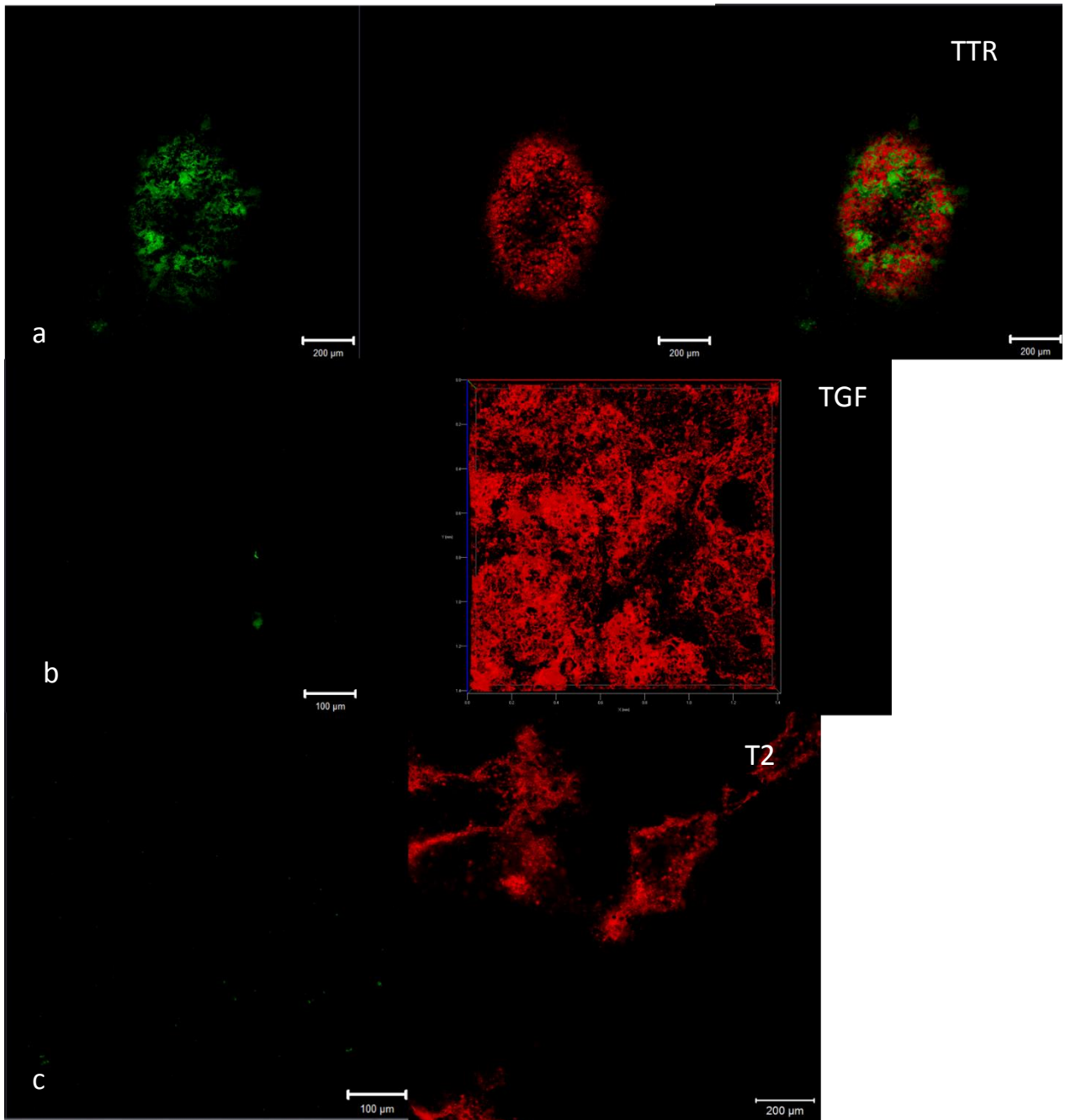


Figura 47. Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) de masas para concha. OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo, TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

### 7.21 Micro estructura de la miga en pan de caja y concha por CLSM

Para el análisis de la miga de ambos panes las muestras fueron pigmentadas igual que las masas. La miga del testigo con trigo (TTR), el testigo libre de gluten (TGF) y el tratamiento 2 (T2) se muestran en las Figuras 46 y 47. En la Figura 46a se observa la miga formada por la estructura proteica (verde) en el pan de caja testigo elaborado con trigo, la estructura es estable y uniforme, los alveolos formados en el pan están distribuidos, los almidones (rojo) se distribuyen en el sistema.

Un comportamiento similar ocurre con la miga del tratamiento 2 (Figura 46c), adicionado con 6% de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada, la miga claramente es más abierta y los alveolos no son tan uniformes. La parte proteica se forma por algunos ingredientes como la albumina y la misma *O. tuberosa* que al hornearse se desnaturalizan formando una estructura rígida. Por contraparte los almidones se observan en mayor cantidad, además que los tamaños de estos no son uniformes debido a la naturaleza de cada uno de los ingredientes.

En la Figura 46b se visualiza que no existe una estructura en la miga, el sistema está disperso y sin ordenamiento, además que no presenta un alveolado estable. Un comportamiento similar se presenta en la miga de la concha donde en las Figuras 47a y 47c se muestra una estructura estable y con alveolos uniformes (verde), aunque la materia grasa de este tipo de producto causa un efecto de barrido en la superficie de la muestra lo que no permite observar claramente la formación de la red que otorga estructura porosa al producto final (Lazaridou *et al.*, 2007).

En el caso de los almidones (rojo) de la concha testigo de trigo (Figura 47a) se observan de forma dispersa a lo largo de la estructura, mientras que en el testigo libre de gluten se concentran en un lado lo que indica el aglomeramiento de estos, visualizando los distintos tamaños de almidón. Esta técnica permite observar como es la interacción de los componentes de las masas y producto terminado, predecir y comprender los cambios en la textura de los mismos, además de ser una herramienta útil en la formulación de nuevos productos en este tipo.



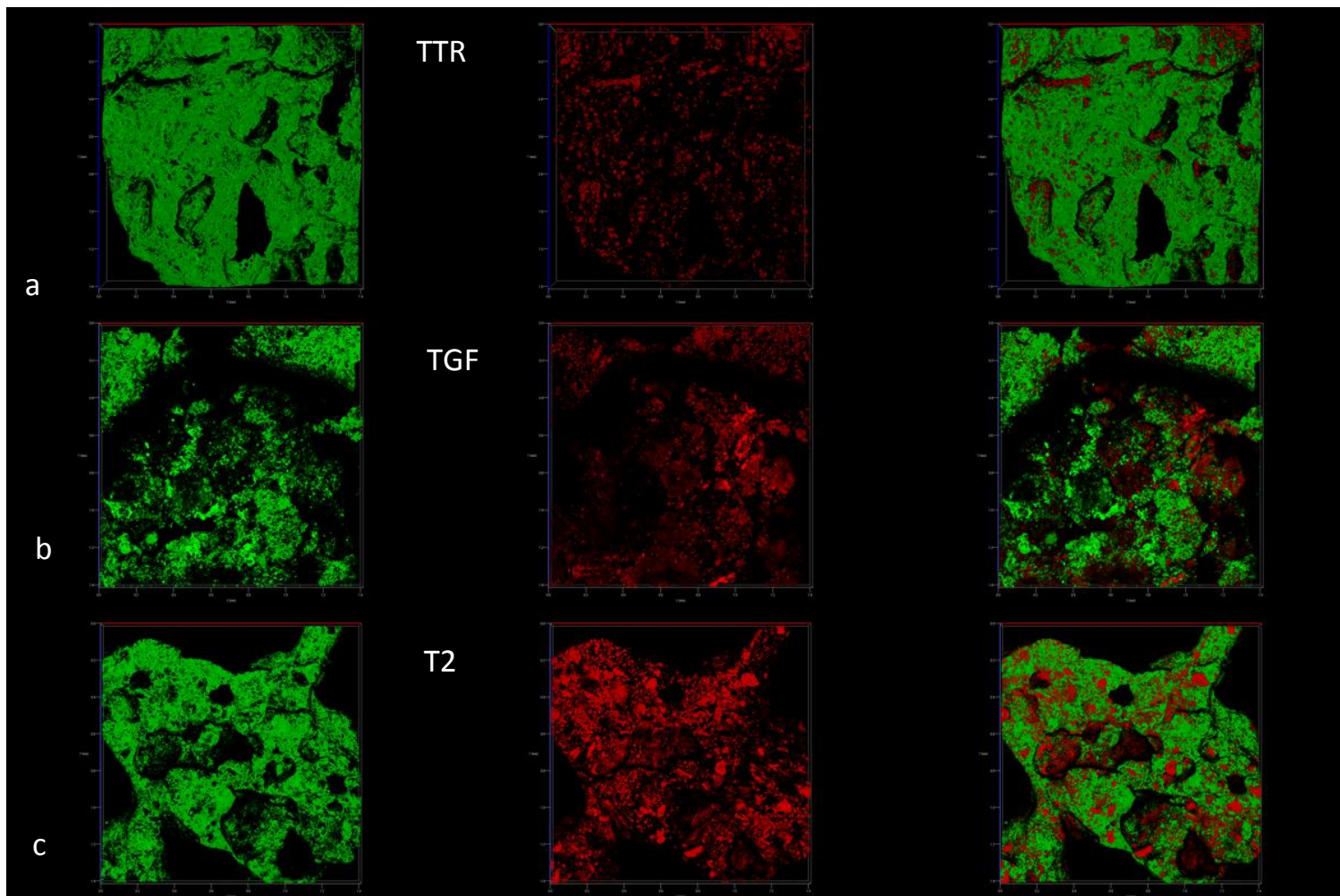


Figura 46. Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) de miga de pan de caja.  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo,  
 TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.

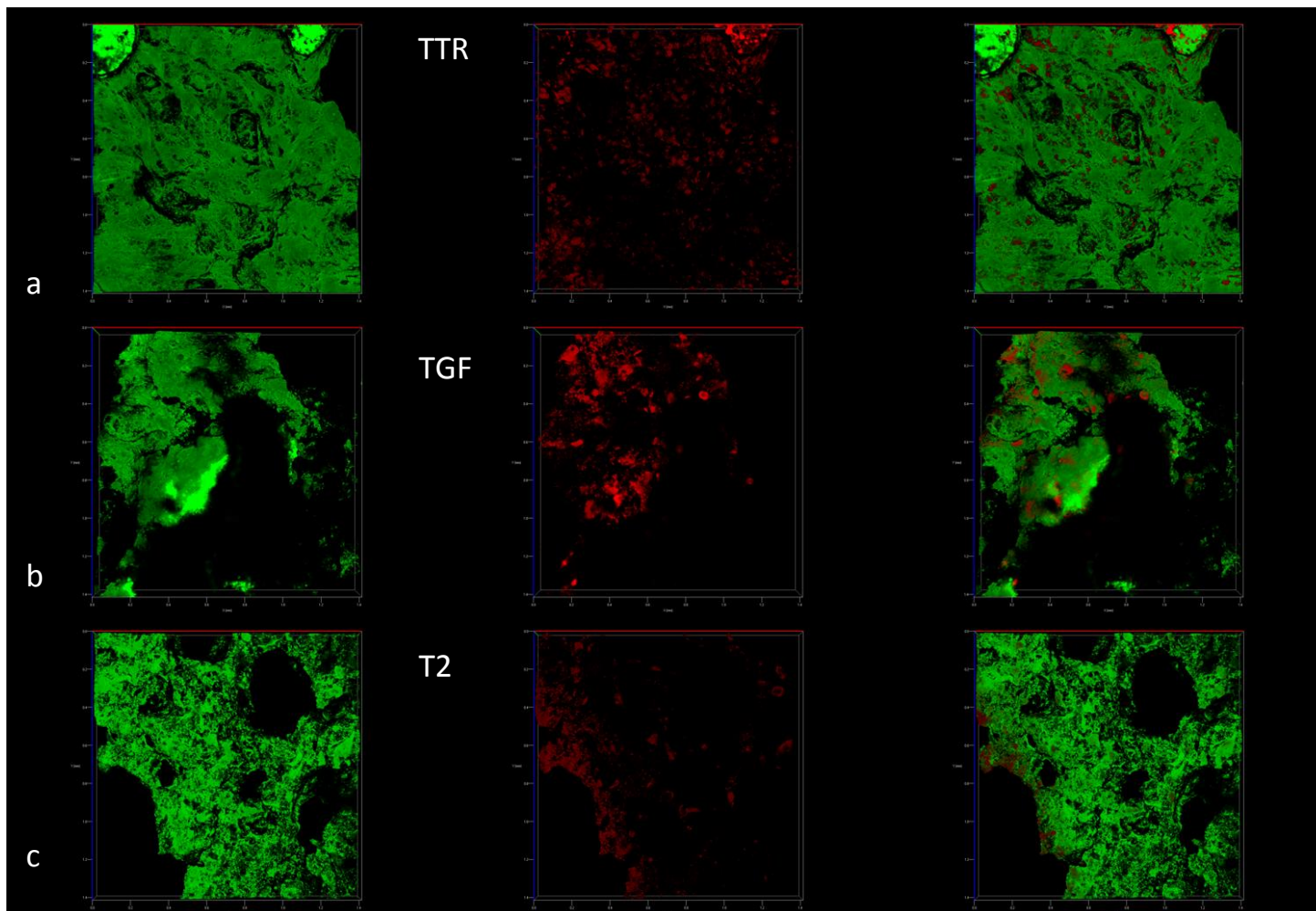


Figura 47. Microscopia confocal de barrido laser (CLSM) de miga de concha.  
 OTP: Harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada. TTR: control con harina de trigo,  
 TGF: control libre de gluten, T2: tratamiento 2 con 6% de OTP.



## VIII. CONCLUSIONES

- Las masas libres de gluten son menos extensibles comparadas con el testigo de trigo, esto se debe a la ausencia de la red de gluten. Este comportamiento tiene influencia en la expansión del CO<sub>2</sub> durante la fermentación y el horneado.
- La incorporación de harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada en la elaboración de pan de caja y pan dulce tipo concha mejora los parámetros de textura en una sustitución de 6% de almidón de maíz. La dureza disminuye y la cohesividad aumenta.
- El volumen y la luminosidad de los productos libres de gluten disminuyen conforme aumenta la harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada, en tanto que la densidad aumenta.
- La evaluación sensorial afectiva mostro que el tratamiento adicionado con harina de *Oxalis tuberosa* pregelatinizada en un 6% no tuvo diferencia comparado con el testigo elaborado con trigo.
- La calidad de la miga determinada por análisis de imagen mostro que la miga de los panes de trigo (miga estándar) es diferente en tamaño y cantidad de alveolos por cm<sup>2</sup> comparada con las libres de gluten. La miga pierde estructura en el testigo libre de gluten, mientras que los tratamientos adicionados con harina de *O. tuberosa* pregelatinizada conservan una mejor estructura, en los T3 y T4 la miga comienza a hacerse más compacta.

- El análisis de la microestructura por microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) permitió observar la interacción de la red de gluten en las masas de trigo y los demás elementos que la formaban, mientras que las masas libres de gluten carecían de estructura. En la microscopía confocal de barrido láser (CLSM) donde pueden observarse por separado la parte proteica y la de carbohidratos, se mostró que en las masas libres de gluten, la estructura está formada por la aglomeración de los almidones que interactúan con el hidrocóide (Wellence Gluten Free).

#### Recomendaciones:

- Se podría utilizar una combinación distinta de la base seca libre de gluten y optimizarla por medio de superficie de respuesta
- Se recomienda la utilización de microscopía electrónica de barrido para determinar el tamaño de los almidones de las diferentes fuentes y observar su comportamiento en la masa
- El uso de un panel entrenado de personas celiacas daría un panorama más amplio en cuanto a la aceptación del producto final

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- **A.A.C.C.** 1995. American Association of Cereal Chemistry. Approved Methods of American Association of Cereal Chemist. The association, St. Paul.
- **A. Baier-Schenk, S. Handschin, M. von Schönau, A.G. Bittermann, T. Bächli, B. Conde-Petit.** (2005). *In situ observation of the freezing process in wheat dough by confocal laser scanning microscopy (CCLSM): formation of ice and changes in gluten network.* Journal of Cereal Science. Vol. 42 pp 255-260. Suiza.
- **A. Lazaridou, D. Duta, M. Papageorgiou, N. Belc, C.G. Biliaderis.** (2007). *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.* Journal of Food Engineering. Vol. 79 pp 1033-1047. Grecia.
- **A. Pérez-Nieto, J.J. Chanona-Pérez, R.R. Farrera-Rebollo, G.F. Gutiérrez-López, I. Alamilla-Beltrán, G. Calderón-Domínguez** (2010). *Image analysis of structural changes in dough during baking.* LWT-Food Science and Technology. Vol. 43 pp 535-543. México.
- **A. Ramesh Yadav, Manisha Guha, R.N. Tharanathan, R.S. Ramteke** (2006). *Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques.* LWT-Food Science and Technology. Vol. 39 pp 20-26. India.
- **Abboud Al-Saleh & Charles S. Brennan.** (2012). *Bread wheat quality: some physical, chemical and rheological characteristics of Syrian and English bread wheat samples.* Foods. Vol 1 pp 03-17. Siria.
- **Alejandra Parada, Magdalena Araya.** (2010). *El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celiaca.* Revista Médica. Vol. 138 pp 1319-1325. Chile.
- **Alfonso Totosaus, Hugo López and Norma Güemes Vera.** (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. pp 01-12. México.

- **Alice V. Moroni, Fabio Dal Bello, Elke K. Arendt.** (2009). *Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue?*. Food Microbiology. Vol. 26 pp 676-684. Irlanda.
- **Alma D. Tlapale-Valdivia, Jorge Chanona-Pérez, Rosalva Mora-Escobedo, Reynold R. Farrera-Rebollo, Gustavo F. Gutiérrez-López & Georgina Calderón-Domínguez.** (2010). *Dough and crumb grain changes during mixing and fermentation and their relation with extension properties and bread quality of yeasted sweet dough.* International Journal of Food Science & Technology. No. 45 pp 530-539. México.
- **Álvarez Orbesuco, Guillermo.** (1957). *Estudio sobre la estructura y variabilidad de la Oca (Oxalis tuberosa Mol.)*. Tesis para obtener el grado en Maestro en Agricultura. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica.
- **Ana Niurka Hernández-Lauzardo, Guadalupe Méndez-Montealvo, Miguel Gerardo Velázquez del Valle, Javier Solorza-Feria, Luis Arturo Bello-Pérez.** (2004). *Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch.* Starch. Vol. 56 pp 357-363. México.
- **Andreas Houben, Agnes Höchstötter, Thomas Becker** (2012). *Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview.* European Food Research Technology. Pp. 195-208. Alemania
- **Anna Pruska-Kedzior, Zenon Kedzior, Mateusz Goracy, Katarzyna Pietrowska, Anna Przybylska, Karolina Szychalska** (2008). *Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations.* European Food Research Technology. Vol. 227 pp 1523-1536. Polonia
- **Anna-Sophie Hager, Anika Wolter, Mariko Czerny, Jürgen Bez, Emanuele Zannini, Elke K. Arendt, Michael Czerny.** (2012). *Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their counterparts.* Eur Food Res Technol. Vol. 235 pp 333-344. Irlanda.

- **Arbizu, C y Tapia, M.** Centro Internacional de la papa. *La agricultura andina, tubérculos andinos*. [En línea][Citado el: 28/04/2014.]
- **Armero E. & Collar C.** (1997) *Texture properties of formulated wheat doughs. Relationships with dough and bread technological quality*. Z. Lebensm Unters Forsch. España
- **B. Lagrain, E. Wilderjans, C. Glorieux, J. A. Delcour.** (2012). *Importance of gluten and starch for structural and textural properties of crumb from fresh and stored bread*. Food Biophysics. Vol. 7 pp 173-181. Bélgica.
- **B.J. Dobraszczyk, B.P. Salmanowicz** (2008). *Comparison of predictions of baking volume using large deformation rheological properties*. Journal of Cereal Science. Vol. 47 pp 292-301. Reino Unido.
- **B.J. Dobraszczyk, M.P. Morgenstern.** (2003). *Rheology and the breadmaking process*. Journal of Cereal Science. Vol. 38 pp 229-245. Reino Unido
- **Badui Dergal, S.** (2012). *Ciencias de los alimentos en la práctica*. México: Ed. Pearson.
- **Baninder S. Sroan, Scott R. Bean, Finlay MacRitchie.** (2009). *Mechanisms of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten-starch matrix*. Journal of Cereal Science. Vol. 49 pp 32-40. Estados Unidos de America.
- **Bennion, E.B.** (1967). *Fabricación de pan*. Ed. Acribia. España.
- **Bermiller Gray, J.D.** (2003). *Bread Stalins comprehensive reviews in food science and food safety*.
- **Bertinet, Richard** (2007). *Panes, 5 tipos de masa para elaborar 50 tipos de pan*. Ed. BLUME. Singapur.
- **Bertrand Meresse, Georgia Malamut and Nadine Cerf-Bensussan.** (2012). *Celiac Disease: An Immunological Jigsaw*. Immunity Review. Pp 907-919. Francia.
- **Bourne, M. C.** (1978). *Texture Profile Analysis*. Food Technology., 32 (7), 62-66, 72.

- **Bourne, M. C.** (1988). *Basic Principles of Food Texture Measurement*. Lecture text of Dough Rheology and Baked Products Texture Workshop - Chicago.
- **Bukasov, S.M** (1963) *Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia*. Perú: s.n.
- **C.S. Hathorn, M.A. Biswas, P.N. Gichuhi, A.C. Bovell-Benjamin** (2008). *Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of bread supplemented with sweetpotato flour and high-gluten enhancers*. LWT-Food Science and Technology. Vol. 41 pp 803-815. Estados Unidos de America.
- **Cajamarca Ruiz, Esther Elizabeth.** (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: s.n.
- **Calvin Onyango, Christopher Mutungi, Günter Unbehend, Meinolf G. Lindhauer.** (2011). *Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch*. LWT Food Science and Technology. Vol. 44 pp 681-686. Kenia.
- **Carla Brites, Maria Jo~ao Trigo, Carla Santos, Concha Collar, Cristina M. Rosell** (2010). *Maize-based gluten-free bread: influence of processing parameters on sensory and instrumental quality*. Food Bioprocess Technology. Vol. 3 pp 707-715. Portugal.
- **Carola Cappa, Mara Lucisano, Manuela Mariotti.** (2013). *Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality*. Carbohydrate Polymers. Vol 98 pp 1657-1666. Italia.
- **Cepeda Miller, Melchor** (2003). *La papa: El fruto de la tierra*. Ed. Trillas.México.
- *Codex Standard for Foods for Special Dietary use for Persons Intolerant to Gluten*. (2008)
- **Corcuera de Mancera, S.** (1999). *Entre gula y templanza: un aspecto de la historia mexicana*.Ed. Fondo de cultura económica. México.

- **Crina Muresan, Laura Stan, Simona Man, Stancuta Scrob, Sevastita Muste.** (2012). *Sensory evaluation of bakery products and its role in determining of the consumer preferences. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies.* pp 304-306. Rumania
- **D. Magdic, Daniela Horuat, G. Drezner, Zorica Jurkovic, Gordana Simic.** (2006) *Image analysis of bread crumb structure in relation to gluten strength of wheat.* Faculty of food Technology. Agricultural Institute Osijek.
- **D. Nash, S.P. Lanning, P. Fox, J.M. Martin, N.K. Blake, E. Souza, R.A Graybosch, M.J. Giroux, and L.E. Talbert.** (2006). *Relationship of Dough Extensibility to Dough Strength in a Spring Wheat Cross.* Cereal Chemistry. Vol. 83 pp 255-258. Estados Unidos de America.
- **De la Vega Ruiz, Gustavo.** (2009). *Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales.* Temas de ciencia y Tecnología, Vol. 13 núm 38.
- Diagnostico precoz de la enfermedad celiaca. (2008). Ministerio de sanidad y consumo (MSC). España.
- **Díaz Tepepa, María Guadalupe.** (2001). *Tradición, etnografía de la escuela rural mexicana y su contexto familiar y comunitario.* Ed. Plaza y Valdez. México.
- **Dow Chemical Pharma & Food Solutions.** (2014). Wellence gluten free. DOW. Alemania.
- **E. Gallagher, T.R. Gormley and E.K. Arendt.** (2004). *Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products.* Trends in Food Science and Technology. Vol. 15 pp 143-152. Irlanda.
- **E. Gallagher, T.R. Gormley, E.K. Arendt.** (2003). *Crust and crumb characteristics of gluten free breads.* Journal of Food Engineering. Vol. 56 pp 153-161. Irlanda.
- **E. Pagliarini, M. Laureati, V. Lavelli.** (2010). *Sensory evaluation of gluten-free breads assessed by a trained panel of celiac assessors.* European Food Research Technology. Vol. 231 pp 37-46. Italia.

- **E.K. Hüttner, E.K. Arendt.** (2010). *Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats*. Trends in Food Science & Technology. Vol. 21 pp 303-312. Irlanda.
- *El pan de molde, Historia, Efectos, 1943 EE.UU. prohibición de pan de molde, En todo el mundo, En la cultura popular. [En línea] [Citado el 28/05/2014]*
- **Esther de la Hera, Cristina M. Rosell, Manuel Gomez.** (2014). *Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility*. Food Chemistry. Vol. 151 pp 526-531. España
- **FAO.** (2000). *Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Chile: s.n.
- **FAO, Colección.** (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1492, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación*. Italia: s.n.
- **Fennema, Owen R.** (2000). *Química de los Alimentos*. España: Acribia.
- **Finlay MacRitchie, Senay Simsek, and David Brookfield.** (2014). *Rheology*. Cereal Foods World. Vol. 59 pp 252-254. USA.
- **Fox Brian, Cameron Allan.** (2009). *Ciencia de los alimentos, nutrición y salud*. Ed. Limusa. México.
- **Franciscano, FR. Bernardino de Sahagún.** (2006). *Historia general de las cosas de la Nueva España*. Ed. Porrúa.
- **G. Della Valle, Y. Boché, P. Colona & B. Vergnes.** (1995). *The extrusion behaviour of potato starch*. Carbohydrate Polymers. Vol. 28 pp 255-264. Francia.
- **Gabriela N. Barrera, Georgina Calderón-Domínguez, Jorge Chanona-Pérez, Gustavo F. Gutiérrez-López, Alberto E. León, Pablo D. Ribotta** (2013). *Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis*. Carbohydrate polymers. Vol 98 pp 1449-1457. Argentina
- **Gama, Ximena.** *Historia de la concha mexicana*. [En línea] [Citado el 30/05/2014]



- **García William y Cadíma, Ximena.** (2003). *Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia.* POLIGRAF. Bolivia.
- **Gelroth, J., Sanders, L. Cogwell, T. & R. Zvaners.** *The Use of Potassium Bromate by the Commercial Baking Industry.*
- **Gisslen, W.** (2011). *Panadería y repostería para profesionales.* Ed. Limusa Wiley. México.
- **Güemes Vera Norma.** (2002). *Características físicas, químicas, reológicas y sensoriales de productos de panificación fortificados con Lupinus mutabilis.* Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Especialidad en: Alimentos. Departamento de graduados e investigación. IPN. México.
- **Halina Gambus, Marek Sikora, Rafat Ziobro.** (2007). *The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free bread.* ACTA Scientiarum Polonorum. Pp 61-74. Polonia.
- **Hans, Horkheimer.**(2004). *Alimentación y obtención de alimentos en el Perú prehispánico.* Ed. Instituto Nacional de Cultura. Perú.
- **Herman, M.** (1992). *Raíces y tubérculos andinos: Prioridades de investigación para un recurso alimentado pospuesto.* Centro Internacional de la papa. Perú.
- **Hernández, Ana N.** (2005). *Papa extranjera, fuente de pigmentos naturales.* México; IPN Conversus.
- **Hoseney R. Cart.** (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales.* Ed. ACRIBIA.
- **Hutkins W. Robert.** (2006). *Microbiology and Technology of Fermented Foods.* IFT Press, Blackwell Publishins.
- **Ilkem Dermirkesen, Behic Mert, Gulum Sumnu, Serpil Sahin.** (2010). *Rheological properties of gluten-free bread formulations.* Journal of Food Engineering. Vol. 96 pp 295-303. Turquía.
- **Ilkem Dermirkesen, Behic Mert, Gulum Sumnu, Serpil Sahin.** (2010). *Utilization of chesnut flour in gluten-free bread formulations.* Journal of Food Engineering. Vol. 101 pp 329-336. Turquía.

- **Ilkem Dermirkesen, Shivangi Kelkar, Osvaldo H. Campanella, Gulum Sumnu, Serpil Sahin, Martin Okos.** (2014). *Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography.* Food Hydrocolloids. Vol. 36 pp 37-44. Turquía.
- **Imad Toufeili, Shawky Dagher, Sossy Shadarevian, Abir Noureddine, May Sarakbi and Mohammed T. Farran.** (1994). *Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum arabic and egg albumen levels by response surface methodology.* Cereal Chemistry. Vol. 71 pp 594-601. Líbano.
- **In Hee, C. & Peterson, D.** (2010). *Chemistry of bread aroma: A review.* Food science biotechnology. Vol 19 no. 3 pp. 575-582.
- **Instituto Internacional de Recursos Fitotécnicos.** (2001). *Descriptores de Oca, Oxalis tuberosa Mol.* Italia: IPGRI.
- **Jaroslav Korus, Mariusz Witczak, Rafal Ziobro, Leslaw Juszczak** (2009). *The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread.* Food Hydrocolloids. Vol. 23 pp 988-995. Polonia.
- **L.S. Sciarini, P.D. Ribotta, A.E. León, G.T. Pérez.** (2012). *Incorporation of several additives into gluten free breads: effect on dough properties and bread quality.* Journal of food engineering. Vol. 111 pp 590-597. Argentina
- *La artesanía de los panaderos mexicanos (2014), Pan de México.* México: Cámara Nacional de la Industria de la Panificación CANAIPA.
- **Laura Alvarez-Jubete, Mark Auty, Elke K. Arendt, Eimear Gallagher.** (2010). *Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten.free formulations.* European Food Research Technology. Vol. 230 pp 437-445. Irlanda.
- **Laura B. Milde, Laura A. Ramallo, María C. Puppo.** (2012). *Gluten-free bread based on tapioca starch: texture and sensory studies.* Food Bioprocess Technology. Vol. 5 pp 888-896. Argentina.
- **León Maarrouí, María Elena.** (2011). *Composición química de “Oca” (Oxalis tuberosa), “Arracha” (Arracaccia xanthorrhiza) y “Tarwi” (Lupinus mutogillis) formulación de una mezcla base para productos alimenticios.* S.n.

- **Lorena S. Sciarini, Pablo D. Ribotta, Alberto E. León, Gabriela T. Pérez.** (2008). *Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality.* Food Bioprocess Technology. Vol. 3 pp 577-585. Argentina.
- **M. Fernandez-Feo, G. Wei, G. Blumenkranz, F. E. Dewhirst, D Schuppan, F.G. Oppenhei and E.J. Helmerhorst.** (2013) *The cultivable human oral gluten-degrading microbiome and its potential implications in coeliac disease and gluten sensitivity.* Clinical Microbiology and Infection. Vol. 19 pp 386-394.
- **M. J. Gil, M. J. Callejo, G. Rodríguez.** (1997). *Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation.* Z Lebens Unters Forsch. Vol. 205 pp 268-273. España.
- **M. Jekle, T. Becker.** (2011). *Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy.* Food Research International. Vol. 44 pp 984-991. Alemania.
- **M. Laureati, B. Giussani, E. Pagliarini.** (2012). *Sensory and hedonic perception of gluten.free bread: comparison between celiac and non.celiac subjects.* Food Research International. Vol. 46 pp 326-333. Italia.
- **M.E. Sánchez-Pardo, A. Ortiz-Moreno, F.J. García-Zaragoza, H. Necoechea-Mondragón, J.J Chanona-Pérez.** (2012). *Comparison of pound cake baked in two cycle microwave-toaster oven and in conventional oven.* LWT-Food Science and Technology. Vol 46 pp 356-362. México.
- **M.G. Scanlon, M.C. Zghal.** (2001). *Bread properties and crumb structure.* Food Research International. Vol. 34 pp 841-864. Canadá.
- **M.J. Patel, S. Chakrabarti-Bell.** (2013). *Flour quality and dough elasticity: Dough sheetability.* Journal of Food Engineering. Vol. 115 pp 371- 383. Australia.
- **Manuela Mariotti, M. Ambrogina Pagani, Mara Lucisano.** (2013). *The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures.* Food Hydrocolloids. Vol. 30 pp 393-400. Italia.

- **Maria Elena Sanchez-Pardo, Alicia Ortiz-Moreno, Rosalva Mora-Escobedo, José Jorge Chanona-Pérez, Hugo Necoechea-Mondragón.** (2008). *Comparison of crumb microstructure from puond cakes baked in a microware or conventional oven.* LWT- Food Science and Technology . Vol 41 pp 620-627. México.
- **María Estela Matos, Cristina M. Rosell.** (2012). *Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads.* European Food Research Technology. Vol. 235 pp 107-117. España.
- **María Estela Matos, Cristina M. Rosell.** (2013). *Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics.* Food Bioprocess Technol. Vol. 6 pp 2331-2341. España
- **Marijana Sakac, Aleksandra Torbica, Ivana Sedej, Miroslav Hadnadev.** (2011). *Influence of breadmaking on antioxidant capacity of gluten free breads based on rice and buckwheat flours.* Food Research International. Vol. 44 pp 2806-2813. Serbia.
- **Mario Martínez Martínez.** (2012). *Influencia de la adición de harinas extruídas en la elaboración de panes de arroz.* Universidad de Valladolid. pp 01-30. España
- **Markus B. Dürrenberger, Stephan Handschin, Béatrice Conde-Petit, Felix Escher.** (2001). *Visualization of food structure by confocal laser scanning microscopy (CLSM).* Lebensm.-Wiss. u.-Technology. Vol. 34 pp 11-17. Suiza.
- **Mayra Díaz-Ramírez, Georgina Calderón-Dominguez, F. Jorge Chanona-Pérez, Arturo Janovitz-Klapp, Rubén López-Santiago, Reynold R. Farrera-Rebollo & Ma. De la Paz Salgado-Cruz.** (2013). *Modelling sorption kinetic of sponge cake crumb added with milk syrup.* International journal of Food Science & Technology. Pp 01-12. México.

- **Mehrdad Mohammadi, Nasim Sadeghnia, Mohammad-Hossain Azizi, Tirang-Reza Neyestani, Amir Mohammad Mortazavian.** (2014). *Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: xanthan and CMC.* Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 20 pp 1812-1818. Iran.
- **Mejía Muñoz, J.M.** (2006) *Propagación in vitro de papa ratona Oxalis tuberosa Mol.* México: Universidad Autónoma de Chapingo, Noviembre de 2006, Chapiso, Serie Horticultura, Vol. 12.
- **Mesas, J.M. & Alegre, T.** (2002). *El pan y su proceso de elaboración.* Ciencia y tecnología alimentaria. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. pp 307-313. Mexico.
- **México Desconocido.** *La deliciosa historia de la panadería mexicana.* [En línea]
- **Michelle M. Moore, Tilman J. Schober, Peter Dockery and Elke K. Arendt.** (2004). *Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters and breads.* Cereal Chemistry. Vol. 81 pp 567-575. Irlanda.
- **Miller R.A & Hosney R.C.** (2011) *Papel de la sal en la panadería.* Kansas University. Manhattan. S.n.
- **Ming-Chih Shih, Ching-Chuan Kuo, Wenchang Chiang.** (2009). *Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes.* Food Chemistry. Vol. 117 pp 114-121. Taiwan.
- *Oca (Oxalis tuberosa). Enables deployment of underutilized species global facilitation unit for underutilized species.* [En línea][Citado el: 28/03/2014.]
- *Oxalis tuberosa, Importancia cultural, diversidad, comestibilidad, cultivo, los esfuerzos de conservación, nombres alternativos.*[En línea][Citado el: 28/03/2014.]
- **P. Cauvain, Stanley.** (2007). *Bread-The product, Technology of breadmaking.*

- **Pazmiño Vaca, María de Lourdes.** (2007). *Estudio de la Oca (Oxalis tuberosa) y propuesta gastronómica.* Quito, Ecuador: s.n. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Administrador Gastronómico.
- **Pérez Fierros, A.** (2001). *La química en el arte de cocinar: química descriptiva culinaria.* Ed. Trillas. México.
- **Perez-Calix, Emmanuel.** (2009). Instituto de Ecología A.C Centro regional del Bajío. [En línea].
- **Petrocca Serafina.** (2011). *Como combatir las intolerancias.* Ed. Anima.
- **Plan rector 2012.** (2012). *Sistema productivo de papa de Michoacán Asociación Civil México.* México: s.n.
- **Pomar Vela, Gerardo Manuel.** (2002). *Tuberización in vitro de Oxalis tuberosa Mol. Oca como una alternativa para producción de tubérculos semillas.* Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis para obtener el título de Biólogo con mención en Botánica.
- **Potter, N.** (1978). *La ciencia de los alimentos.* Ed. Harla. México.
- **Ralaf Ziobro, Teresa Witczak, Leslaw Juszczak, Jaroslaw Korus.** (2013). *Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic.* Food Hydrocolloids. Vol. 32 pp 213-220. Polonia.
- **Reynold R. Farrera-Rebollo, Ma. De la Paz Salgado-Cruz, Jorge Chanona Pérez, Gustavo F. Gutiérrez-López, Liliana Alamilla-Beltrán, Georgina Calderón-Dominguez.** (2012). *Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure.* Food Bioprocess Technology. Vol. 5 pp 474-484. México.
- **Roberts, D.** (1995). *After 4,500 years rediscovering Eset's Bread- baking technology.* National Geographic.
- **Roel Pineda, Virgilio.** (2001). *Cultura peruana e historias incas.* Lima: Fondo de Cultura Económica.
- **Rosell C.** (2011) *The science of doughs and bread quality.* Elsevier. España

- **Rosero Alpala, María Gladys.** (2010). *Colección, caracterización y conservación de variabilidad genética de Oca (Oxalis tuberosa Mol.) en agrosistemas paramunos del departamento de Nariño Colombia.* Colombia: s.n. Tesis para obtener el título de maestro en Ciencias.
- **Ruiz M. D.** (2012). *Tratado de nutrición, composición y calidad nutritiva de los alimentos.* Ed. Panamericana. España.
- **S. Mezaize, S. Chevallier, A. Le-Bail, M. de Lamballerie.** (2010). *Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality.* Food Research International. Vol. 43 pp 2186-2192. Francia
- **Serna Saldivar, Othón Sergio R.** (2009). *Química, Almacenamiento e industrialización de los cereales.* AGT Editor S.A.
- **Stefano Renzetti, Fabio Dal Bello, Elke K. Arendt.** (2008). *Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase.* Journal of Cereal Science. Vol. 33 pp 33-45. Irlanda.
- **Szczesniak, A. S.** (1963). *Classification of textural characteristics.* Journal of Food Science, 28, 385-389.
- **Szczesniak, A. S.** (1966). *Texture Measurements.* Food Technology., 20, 50, 55-58.
- *The Story of Bread*, Science Standford 1-2 & 3 Activities Utah State Office of Electrum, Utah State University.
- **Tilman J. Schober, Scott R. Bean, Daniel L. Boyle, Seok-Ho Park.** (2008). *Improved viscoelastic zein-strach doughs for leavened gluten-free breads: Their rheology and microstructure.* Journal of Cereal Science. Vol. 48 pp 755-767. Estados Unidos de América.
- **V.A. Vaclavik and E.W. Christian.** (2014). *Starches in food.* Essentials of Food Science. Vol. 4 pp 39-51. New York
- **Valcarcel, Beatriz.** (2013). *The physical, chemical and fuctional characterization of straches from Andean tubers: Oca (Oxalis tuberosa Molina), Olluco (Ullucus tuberosum Caldes) and Mashua (Tropaeslum*

*tuberosum Ruiz y Pavón*). Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. Vol. 49.

- **Valeria del Castillo, Gerardo Lescano, Margarita Armada.** (2009). *Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quinoa, cereales y almidones*. Archivos Latinoamericanos de nutrición. Vol. 59 pp 332-336. Argentina.
- **Vassilis Kontogiorgos.** (2011). *Microstructure of hydrated gluten network*. Food research international. Vol. 44 pp 2582-2586. Reino Unido
- **Velazquez, José** (2011). *Curso de panadería y pastelería*. México.
- **W. Li, B.J. Dobraszczyk, P.J. Wilde.** (2004). *Surface properties and locations of gluten proteins and lipids revealed using confocal scanning laser microscopy in bread dough*. Journal of Cereal Science. Vol. 39 pp 403-411. Reino Unido.
- **Waranit Pongjaruvat, Pawadee Methacanon, Nipsa Seetapan, Asira Fuongfuchat, Chaiwut Gamonpilas.** (2014). *Influence of pregelatinized tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads*. Food Hydrocolloids. Vol. 36 pp 143-150. Tailandia.
- **WGO.** (2012) *World Gastroenterology Organization global guidelines: celiac disease*.
- **Wieser, H.** (2007). *Food Microbiology*.
- **Z. Liu & M.G. Scanlon.** (2003). *Predicting mechanical properties of bread crumb*. Trnas IChemE. Vol. 81 pp 22-238. Canadá.