

**LA ENFERMEDAD CELIACA Y LA CONTRIBUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS AL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS SIN GLUTEN**

**MARCELA LUGO LUCUMI**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
CALI, COLOMBIA, 2015**

**LA ENFERMEDAD CELIACA Y LA CONTRIBUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS AL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS SIN GLUTEN**

**MARCELA LUGO LUCUMI**

**Monografía de grado presentada como requisito parcial  
para optar el título de Ingeniera de Alimentos**

**Director  
HAROLD A. ACOSTA ZULETA, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
CALI, COLOMBIA, 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	6
1 INTRODUCCIÓN.....	8
2 ANTECEDENTES.....	9
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
4 JUSTIFICACIÓN.....	11
5 OBJETIVOS .....	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos específicos.....	11
6 GENERALIDADES DE LA ENFERMEDAD CELIACA .....	12
6.1 Gluten.....	12
6.2 Enfermedad Celiaca .....	14
6.3 Tipos de enfermedad celíaca.....	14
6.3.1 Estudios clínicos sobre la enfermedad celiaca.....	17
6.4 Métodos de detección del gluten en los alimentos .....	18
6.4.1 Ensayo inmunoenzimático ELISA (método <i>Codex Stan 118 1979</i> ).....	18
6.4.2 Técnica de PCR.....	19
6.4.3 Técnica <i>Western Blot</i> .....	19
6.4.4 Biosensores y <i>lab-on-a-chip</i> .....	20
6.4.5 Tiras inmunocromatográficas .....	20
6.5 La medicina y la enfermedad celiaca .....	21
6.5.1 Diagnóstico de la enfermedad celíaca .....	21
6.5.2 Tratamiento y prevención de la enfermedad .....	23
6.6 Legislación sobre alimentos sin gluten.....	26

7 INVESTIGACIÓN DE LA ENFERMEDAD CELÍACA Y RESPUESTAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	30
Alimentos desarrollados para personas celiacas .....	30
7.1 Pan de molde con harina de arroz y adición de goma xanthan y hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) .....	32
7.2 Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto ( <i>Amaranthus hybridus</i> ) y harina de arroz ( <i>Oriza sativa</i> ) para celíacos .....	34
7.3 Influencia de la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), el <i>psyllium</i> y su combinación en las propiedades morfogeométricas y texturales de panes sin gluten elaborados con harina de arroz .....	34
7.4 Formulación/diseño de nuevas salsas funcionales libres de gluten: estudio de sus características fisicoquímicas, microestructurales y sensoriales .....	35
7.5 Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas .....	37
7.6 Efecto de la adición de harina de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de tortas y panquecas .....	38
7.7 Efecto de la adición de enzima transglutamasa en el desarrollo de pan a base de harina de quinua ( <i>Chenopodium quinua</i> Will) .....	40
7.8 Desarrollo de una pre-mezcla para pizza a base de harina de grano entero de sorgo y mijo.....	41
7.9 Desarrollo de una bebida fermentada a base de quinua ( <i>Chenopodium quinua</i> ) Quigü .....	43
7.10 Elaboración y aplicación gastronómica de la harina de algarrobo .....	44
7.11 Efecto del proceso en la calidad y digestibilidad de la pasta sin gluten .....	45
8 CONCLUSIONES .....	46
9 BIBLIOGRAFÍA.....	48

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Comportamiento de las proteínas del gluten presentes en el trigo. _____	12
Figura 2. La mucosa intestinal en estado normal, y la mucosa de una persona celiaca con atrofia. _____	17
Figura 3. Símbolo internacional que indica la ausencia de gluten en los alimentos. _____	27
Figura 4. Relación ancho alto de la goma xanthan. _____	32
Figura 5. Relación ancho alto del HPMC . _____	33

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Cantidad de gluten admitida en diferentes países.....	29
--	----

## **RESUMEN**

La celiaquía es una patología padecida por personas predispuesta genéticamente, provocada por la ingesta de gluten, contenido en trigo, avena, cebada y centeno. Las proteínas de estos cereales dañan la mucosa y las vellosidades del intestino delgado, donde son absorbidos los nutrientes. Deficiencias en su tratamiento, conlleva a una mala absorción que sin tratamiento, puede provocar desde una desnutrición severa hasta un cáncer a nivel estomacal. La única cura conocida para mejorar la calidad de vida de las personas que padecen esta enfermedad, es una dieta alimentaria que excluya alimentos con gluten, el cual contiene entre sus proteínas, las prolaminas, causantes de esta dolencia. La celiaquía se manifiesta en diferentes formas clínicas y cada una presenta una sintomatología particular. El análisis de alimentos ha avanzado hacia pruebas más específicas para la detección de gluten, según el alimento y el tratamiento térmico al cual fue sometido, determinando así, si el alimento es apto para una persona celíaca. Se han desarrollado nuevos productos pensando en estas personas, usando materias primas diferentes a la avena, la cebada, el centeno y el trigo. Otros alimentos se han ido modificando o mejorando como es el caso del pan, tratando de sustituir la materia prima que contiene gluten, por otra que pueda alcanzar características similares a las que este aporta. Las materias primas utilizadas para la elaboración de alimentos libres de gluten, han sido cereales que no contienen gluten como arroz, mijo, sorgo y maíz; pseudo-cereales como amaranto y quinua; tubérculos como yuca y papa, y legumbres como lentejas y frijoles, entre otros. Debido a la prevalencia de la enfermedad, se sigue estudiando más acerca del comportamiento y los diferentes usos que se pueden dar a las materias primas, que produzcan alimentos seguros y agradables, lo que significa retos continuos para la industria alimentaria.

Palabras clave: Enfermedad celíaca, cereales, gluten, trigo, nuevos productos.

## **ABSTRACT**

Coeliac or Celiac disease is a condition suffered by genetically predisposed people, triggered by eating gluten contained in wheat, oats, barley and rye. The proteins of these cereals damage the mucosa and villi of the small intestine where nutrients are absorbed. Deficiencies in its treatment leads to malabsorption, which left untreated, can lead to severe malnutrition from cancer to stomach level. The

only known cure for improving the quality of life of people with this disease, is a food diet that excludes foods with gluten, which contains among its proteins, prolamins, causing this ailment. Celiac disease manifests itself in different clinical forms and each has a particular symptomatology. Food analysis has advanced toward more specific gluten detection tests allowing determining the heat treatment to which the product was subjected, thus determining if the food was suitable for a celiac person. New products had been developed thinking about these people, using different raw materials to oats, barley, rye and wheat. Other foods have been modified or improved as in the case of bread, trying to replace the raw materials containing gluten, to others that can achieve similar features. The raw materials used for the production of gluten-free foods range from cereals to vegetables without gluten, such as rice, millet, sorghum, corn, amaranth, quinoa, cassava, lentils and others. Because of the prevalence of the disease, the study of the behavior and different uses given to raw materials other than gluten rich cereals will keep being a challenge to produce safe and enjoyable food in the foreseeable future for the industry.

Keywords: Coeliac or Celiac disease, cereals, gluten, wheat, new products.

# 1 INTRODUCCIÓN

La enfermedad celíaca ocurre en individuos predispuestos genéticamente y a quienes la ingesta de alimentos que contienen gluten, les daña la superficie de la mucosa del intestino delgado, lo que lleva a la incapacidad de absorber los nutrientes. El tratamiento de esta patología es exclusivamente dietético y consiste en el no consumo por la persona afectada, de cereales como trigo, avena, cebada y centeno, y sus derivados (Uscanga, 2010).

Las manifestaciones atípicas son atribuidas a la enfermedad celíaca asintomática, subclínica o silente. Hasta hace algunos años, se pensaba que la enfermedad celiaca era una enteropatía rara cuya prevalencia se daba solo en Europa y en la etapa de la niñez, esto se debió a la falta de información acerca de la enfermedad y la sintomatología correspondiente. Actualmente, se ha demostrado que ocurre también en la adolescencia y gran parte de la adultez, estudios han constatado que puede afectar a cualquier persona sin distinción de raza, edad ni género, y es más frecuente en adultos con prevalencia media entre 1-3% a nivel mundial (Prieto, 2014).

Hoy en día se cree que la población con enfermedad celiaca se ha incrementado, lo cual no es del todo cierto, si se tiene en cuenta que antes era muy común que la enfermedad, por la similitud en sus síntomas, fuera confundida con otra y por ende recibir un tratamiento equivocado, sin buenos resultados en la mejora de la salud de la persona, llegando en ocasiones a provocar la muerte. La enfermedad celiaca entre las variadas formas clínicas en la que se presenta esta la llamada silente, la cual la padecen en la mayoría de los casos, familiares de primer grado de un celiaco, las personas que la tienen no muestran síntomas sino hasta pasados algunos años. Por lo tanto, no son tenidas en cuenta al igual que las mal diagnosticadas dentro la población celiaca hasta entonces, dando como resultado un número equivocado de personas que en realidad la padecen (López *et al.*, 2003).

La mayoría de los productos de panadería, confitería y pastelería, además las salsas, contienen ingredientes con gluten como principal componente, lo cual limita la alimentación del celiaco. Se han desarrollado productos comerciales para estos pacientes, pero persiste una ostensible escasez en su variedad y su disponibilidad (Del Castillo *et al.*, 2009). Los productos que se han desarrollado son prácticamente de consumo local, de difícil adquisición en el mercado, con disponibilidad casi exclusiva en tiendas especializadas y de alto costo, afectando así la canasta familiar (Shan *et al.*, 2002).



## 2 ANTECEDENTES

La enfermedad celíaca, se define como el deterioro en la capacidad de absorber nutrientes del intestino delgado. Al consumir gluten, en el organismo predispuesto, se produce una reacción del sistema inmune a la proteína, erosionando y destruyendo gradualmente las vellosidades del intestino delgado, y cuando estas se dañan, el cuerpo no puede procesar las vitaminas, los minerales y otros nutrientes necesarios para mantenerse saludable. Esta es una enfermedad que se puede manifestar en cualquier etapa de la vida. Su tratamiento consiste en eliminar completamente los alimentos que contengan gluten de la dieta, como lo son, trigo, avena, centeno, cebada, con los que se pueden producir, pastas, productos de panificación, salsas, aderezos, bebidas y todo tipo de derivados elaborados con los cereales enunciados (Mosquera *et al.*, 2012).

En la mayoría de los alimentos elaborados para celíacos, le fueron sustituidos los ingredientes que tenían gluten, por otros que no lo tenían, como maíz, papa, arroz, soya, tapioca, amaranto, quinua, mijo y trigo sarraceno, además de algunas legumbres, entre otros. Los consumidores notaron diferencias en textura y sabores, comparados con alimentos comunes, pero a medida que avancen las investigaciones se buscará mejorar la aceptabilidad y minimizar las diferencias.

A partir del sorgo y de mijo, se han obtenido bizcochos, galletas, pasta y panes. Elaborar panes libres de gluten constituyen un reto, por las características propias que son atribuidas por el gluten, estas deben ser sustituidas con el uso de aditivos (almidones nativos y pregelatinizados, hidrocoloides, grasa, huevo y pentosanas entre otras) para mejorar la calidad del mismo. Los panes presentan menor volumen y envejecen más rápido (Cueto *et al.*, 2011). Los granos procesados o no, se pueden cocer enteros o descortezados, molidos para obtener harina por medio de uno de los métodos tradicionales o industriales, dando lugar a distintos tipos de pan, productos cocidos, productos hervidos, bebidas y alimentos de refrigerio (Mosquera *et al.*, 2012).

La yuca es un alimento rico en hidratos de carbono complejos (almidón) y otras sustancias nutritivas que pueden convertirse en harina para utilizarse en formulaciones para elaboración de pan, pasta, mezclas, dulces, entre otras. Por ser un tubérculo, no contiene gluten y le sirve de alimento para celíacos, por lo que se ha venido desarrollando harina de yuca que sirva en la formulación base para este tipo de productos (Cueto *et al.*, 2011).

El amaranto es una planta perteneciente a la familia *Amaranthaceae* con sabor muy similar a la nuez. Este pseudo-cereal, contiene lisina, metionina y cisteína, lo que lo convierte en una opción para el consumo del celíaco, si se tiene en cuenta que el contenido de nutrientes que tiene, no es muy común encontrarlo en los cereales (Mosquera *et al.*, 2012).

En la actualidad se han utilizado, además de las anteriores materias primas en la elaboración de productos alimenticios para celíacos, la quinua que es uno de los pseudo-cereales con gran importancia, debido a su alto contenido proteico, lo que no es usual entre los cereales. Es utilizado en la elaboración de ciertos alimentos a manera de complemento nutricional. Dentro del proceso es importante la adición de otros productos, ya sean como ingredientes o a manera de aditivo, que ayuden al mejoramiento tanto de la parte nutricional como de la organoléptica, para lograr una mayor aceptación por parte del consumidor.

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, la ingeniería de alimentos viene desarrollando varias alternativas de alimentos para personas que padecen la enfermedad celíaca. Se pretende con este trabajo monográfico, dar a conocer alternativas que se han logrado por medio de trabajos de investigación y desarrollo en este ámbito, logrando mejorar la calidad de vida de personas que padecen esta enfermedad.

Los desarrollos de productos para celíacos van en aumento. Se han empleado materias primas de diferente origen, como arroz, amaranto, sorgo, mijo, entre otros, con los cuales se han producido harinas que sirven como base para la elaboración de alimentos como pan, galletas, base para pizza, bebidas y pastas. Por esto, se propone la identificación de métodos que se han desarrollado para la elaboración de los anteriores productos mencionados, aptos para el consumo de las personas con este tipo de padecimiento.

## **4 JUSTIFICACIÓN**

La población que padece la celiaquía o intolerancia al gluten, se encuentra en continuo aumento. Por esto es importante reconocer las diferentes formas clínicas y su sintomatología; además del tratamiento médico requerido para estos pacientes. Esta complicación va ligada directamente a la alimentación, porque se deben eliminar todos los alimentos con gluten de la dieta diaria. Así que la Ingeniería de Alimentos debe responder a estas necesidades, para crear nuevos productos y mejorar los ya existentes que no cumplan con el requerimiento, libre de gluten. Logrando con esto aumentar la lista de alimentos aptos para celíacos, para una mejora en la calidad de vida.

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Documentar la información sobre qué es y cómo se detecta la enfermedad celíaca y las respuestas que se han ofrecido desde la ingeniería de alimentos, mediante el desarrollo de nuevos productos que mejoren la calidad de vida de las personas celiacas.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Describir los elementos de la enfermedad celíaca y su clasificación clínica.
- Definir los métodos utilizados en la detección de gluten en alimentos.
- Reconocer algunos productos desarrollados por la industria, que se puedan catalogar como alimentos libres de gluten y que cubran parcialmente las necesidades de la población celíaca.

## 6 GENERALIDADES DE LA ENFERMEDAD CELIACA

### 6.1 Gluten

El gluten está compuesto por proteínas (gliadinas y gluteninas) con bajo valor nutritivo, pero con la propiedad de retener el dióxido de carbono generado por la fermentación en la elaboración de masa para el pan. Esta es una característica importante en la panificación, por la viscoelasticidad que le aporta a la masa, dándole mayor elevación al pan durante el horneado, algo difícil de lograr con un cereal que no contenga gluten.

El gluten está constituido por proteínas que en conjunto se conocen como prolaminas, estas forman parte de la fracción soluble en alcohol del gluten y además, contienen la mayor parte de los componentes tóxicos para los celíacos. Las proteínas del gluten, por su alto contenido de prolinas, se degradan con gran dificultad por las enzimas del tracto gastrointestinal (Shan *et al.*, 2002). Cuando las dos proteínas (gliadina y glutenina las componentes del gluten) en el caso del trigo, hacen contacto con el agua, estas se unen formando una red, encargada de atrapar el gas carbónico producido durante la fermentación, como se puede apreciar en la figura 1.

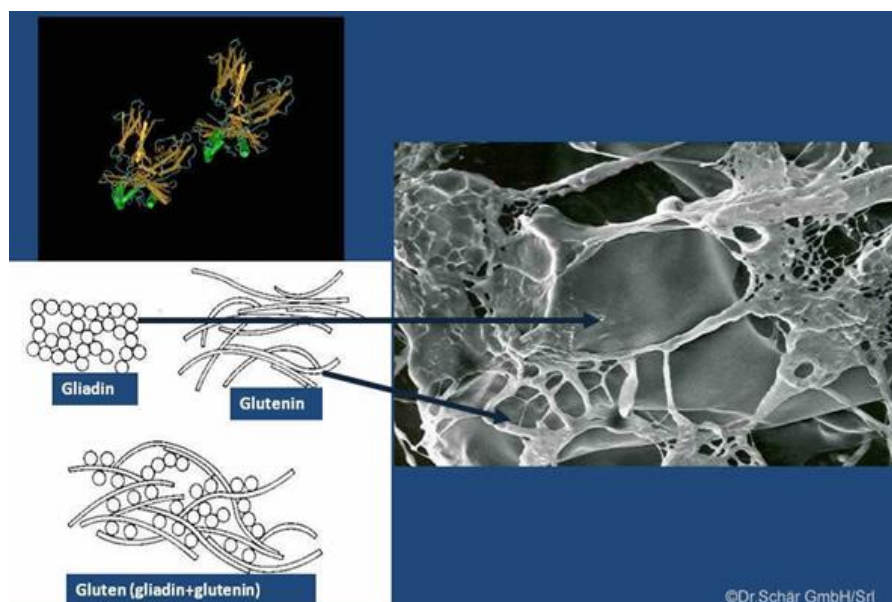


Figura 1. Comportamiento de las proteínas del gluten presentes en el trigo. Fuente: Dr. Schaer Institute, 2012).

La composición promedio de la harina de trigo es, 67-75% de almidón, 2% de lípidos, 2-3% de pentosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos), 0.5% de sales, 14% de agua y 10-12% de proteínas (de este porcentaje, gliadinas y gluteninas, constituyen el 85% y el 15% restante son albúminas y globulinas) (Pérez, 2013).

El término gluten se usa para designar la red que forman las gluteninas y gliadinas hidratadas durante el amasado, y del cual 80 - 85% de las proteínas totales corresponde a estas. Las gliadinas son proteínas monoméricas altamente polimórficas con masas entre 30-50 kDa (kilo Dalton), solubles en alcohol, constituyen casi el 50% del gluten. Se clasifican en tres grupos:  $\alpha$ -gliadinas,  $\beta$ -gliadinas y  $\gamma$ -gliadinas, que al hidratarse forman una masa viscosa, extensible, fluida, pero poco elástica, responsables de la expansión de la masa durante la elaboración del pan. Las gluteninas son una mezcla heterogénea de polímeros unidas por enlaces disulfuros, con pesos moleculares que varían entre 500.000 a más de 10 millones Da (Dalton), conformadas a su vez por subunidades de alto y bajo peso molecular, que se enlazan por uniones disulfuro, son insolubles en soluciones salinas neutras y en etanol al 70%, pero solubles o dispersables en ácidos y en bases débiles, al hidratarse producen una masa elástica y cohesiva (Badui, 2006). Durante la elaboración del pan, las proteínas deben estar en una proporción adecuada o de lo contrario, el exceso de gluten tendría tan alta cohesividad que inhibiría la expansión de la masa, disminuyendo significativamente el volumen (Badui, 2006). Estos conocimientos han sido derivados de investigaciones hechas extensamente con trigo.

La avena es un cereal del cual se cree que por su bajo contenido de prolamina, no llega a ser un peligro para los celíacos. Sin embargo, gran cantidad de la producida industrialmente, sufre contaminación cruzada durante su proceso de elaboración, aumentando su de prolaminas hasta representar un peligro sustancial (Portillo, 2009).

Hoy el concepto de enfermedad celíaca es más amplio, pues existen diferentes niveles en los que puede afectar el gluten al organismo, los enfermos con síntomas clásicos de enfermedad celíaca son sólo la “punta del iceberg” comparados con todos los sujetos que realmente están afectados sin saberlo y a quienes la enfermedad se presenta de una forma silenciosa y en ocasiones con dificultad para llegar al diagnóstico verdadero (Polanco *et al.*, 2005).

## **6.2 Enfermedad Celiaca**

La enfermedad celiaca es una enteropatía sistémica, debida a la intolerancia que tiene un grupo de individuos a ciertas proteínas presentes en el gluten, las cuales son nombradas según el cereal de donde provengan, trigo (gliadinas), avena (aveninas), cebada (hordeína), centeno (secalina). Esta enfermedad se puede dividir en cuatro distintas manifestaciones clínicas, la clásica, la potencial, la silente y la latente, cada una posee características específicas para la persona que la padece.

## **6.3 Tipos de enfermedad celíaca**

### **Enfermedad Celíaca Clásica**

Casos de enteropatía sensible al gluten con sintomatología clínica, típica o no, y biopsia intestinal alterada, en individuos genéticamente predispuestos (Calvo, 2003).

### **Enfermedad Celíaca Potencial**

Individuos que pueden tener una predisposición genética a padecer la enfermedad, pero que no se tiene ningún dato real para el diagnóstico (Calvo, 2003).

### **Enfermedad Celíaca Silente**

Casos de enteropatía sensible al gluten, sin sintomatología, aunque la mucosa intestinal aparece alterada en la biopsia y la genética sea positiva (ejemplo: familiares de celíacos) (Calvo, 2003).

### **Enfermedad Celíaca Latente**

Se incluye a aquellas personas genéticamente predispuestas, que tienen una biopsia normal, aunque estén consumiendo gluten. Pueden ser aquellos que

previamente fueron diagnosticados de enfermedad celíaca con una biopsia, cuya lesión se recuperó o, se les hizo un estudio previo, demostrando que no eran celíacos, pero aparece la lesión típica de la enfermedad celíaca (Calvo, 2003).

### **Enfermedades asociadas a la celiacía**

Existen enfermedades que suelen proceder de la enfermedad celiaca, o generarse paralelamente a esta, incluso después del diagnóstico. Muchas enfermedades se derivan por causa de la celiacía, es decir que además de los diferentes cuadros clínicos en los que se manifiesta, también existe cierta probabilidad de padecer alguna de estas patologías, conllevando a la complicación del tratamiento por la sintomatología, estas enfermedades pueden ser endocrinas, cutáneas, reumáticas, neurológicas, hepáticas.

Las siguientes son las posibles enfermedades asociadas a la enfermedad celiaca:

- **Enfermedades endocrinas, se pueden destacar:**

Diabetes mellitus Tipo I o insulino-dependiente (DID): la prevalencia de la enfermedad celíaca entre los pacientes insulino-dependientes se encuentra alrededor del 4-7% mientras que el 5-11% de los celíacos desarrollarán una diabetes tipo I. Aparece más en los diabéticos de larga evolución. Suele aparecer antes la diabetes que la enfermedad celíaca. Esta cursa, en los diabéticos, con síntomas extra digestivos y/o de manera asintomática.

Enfermedades tiroideas autoinmunes: engloba una serie de patologías: enfermedad de Graves-Basedow, tiroiditis de Hashimoto que es la patología tiroidea más frecuente aparece entre la población celíaca, hipotiroidismo atrófico autoinmune y tiroiditis posparto.

Enfermedad de Addison: el 4% de esta población presenta también la enfermedad celíaca. Su asociación se cree que se debe a una base genética común.

- **Enfermedades cutáneas: entre las que encuentran:**

Dermatitis herpetiforme o enfermedad de *Duhring*: se da en el 25% de las personas celíacas (uno de cada cuatro celíacos tienen, además, esta enfermedad cutánea asociada), principalmente en el género masculino. Se piensa que su causa o aparición se debe a la sensibilidad al gluten.

Psoriasis: entre el 16%-30% de los pacientes que presentan psoriasis tienen anticuerpos típicos de la enfermedad celíaca aunque sólo la mitad de éstos la presentan. Una dieta sin gluten, en los pacientes que presentan ambas enfermedades, mejora las manifestaciones cutáneas.

Alopecia areata: alrededor del 1.8% de la población que tiene esta afección también presenta la enfermedad celíaca. Estos suelen ser asintomáticos desde el punto de vista digestivo

- **Enfermedades reumáticas destacables:**

Síndrome de Sjögren: es la enfermedad reumática que más se asocia a la enfermedad celíaca ya que entre el 3-14% de las personas celíacas, además, padecen este síndrome.

Artritis reumatoide: la enfermedad celíaca aparece entre el 1,5% y 2,5% de las personas diagnosticadas de artritis reumatoide.

En pacientes celíacos con artritis se ha observado la existencia de niveles elevados de anticuerpos antigliadina.

- **Enfermedades neurológicas como:**

Ataxia cerebelosa: es el proceso neurológico que con más frecuencia se asocia a la enfermedad celíaca.

Síndrome de Gobbi: asociación entre la enfermedad celíaca, la epilepsia y las calcificaciones cerebrales occipitales.

Neuropatía periférica autoinmune: esta patología se ha diagnosticado en el 40% de las personas celíacas. Estas neuropatías suelen ser crónicas, simétricas, distales y de predominio sensitivo.

- Enfermedades hepáticas, como por ejemplo:

Cirrosis biliar primaria (CBP): entre el 0,2% y el 3% de los celíacos presentan la CBP como enfermedad asociada, mientras que el 2,5%- 9% de los que tienen CBP presentan una enfermedad celíaca ya confirmada. Esta asociación se estableció en 1978.



Hepatitis crónica autoinmune: la prevalencia de enfermedad celíaca está alrededor del 5% en las personas que tienen hepatitis.

### 6.3.1 Estudios clínicos sobre la enfermedad celíaca

La Enfermedad Celíaca es una enteropatía autoinmune inducida por la ingesta de gluten, en individuos genéticamente predispuestos (Merlos, 2013). En los pacientes celíacos, el gluten de la dieta produce una respuesta inflamatoria de la mucosa, que lleva a la mal absorción de nutrientes como hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas solubles en lípidos por causa de la atrofia en la mucosa intestinal, como se puede ver en la figura 2 (Merlos, 2013).

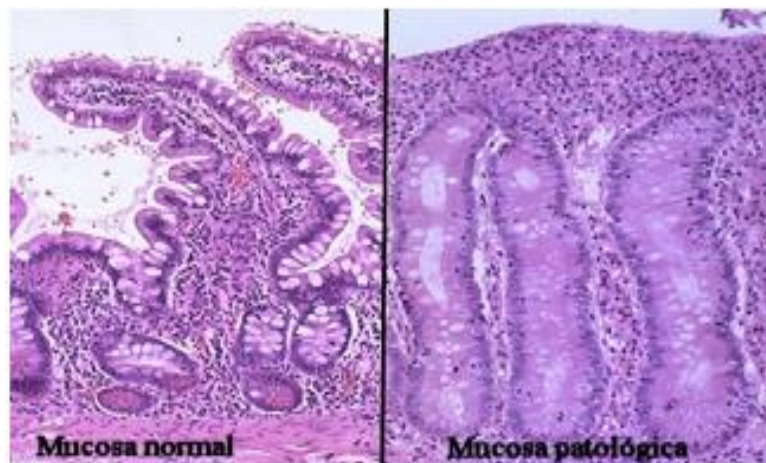


Figura 2. La mucosa intestinal en estado normal, y la mucosa de una persona celíaca con atrofia.  
Fuente: Dr. Schaer Institute, 2012.

Fisiopatológicamente, la presencia de prolaminas presentes en el gluten, estimulan las células T sensibilizadas en conjunción con los antígenos HLA-DQ2 o HLA-DQ8, esto conlleva a la producción de citoquinas, las cuales causan daño en los tejidos de la mucosa intestinal y activan células plasmáticas que producen los anticuerpos, antigliadina, antitransglutaminasa y antiendomiso, alterando las funciones vitales del intestino delgado (Merlo, 2013).

Hasta no hace mucho tiempo era considerada una enfermedad poco común, estimándose una afección de 1 en 1000 personas (y de 1 en 3000 nacidos vivos) y

que estaba más extendida en Europa. En las últimas décadas, el desarrollo de pruebas serológicas con mayor sensibilidad y especificidad, ha permitido la detección de más personas con la enfermedad, muchas de ellas asintomáticas, por lo cual la incidencia ha aumentado a 1 en 200, ampliando el espectro clínico (Calvo, 2003).

#### **6.4 Métodos de detección del gluten en los alimentos**

En la industria alimentaria existen diferentes y variados alimentos que no contienen gluten por sí mismos, y en principio no representan un peligro para las personas celíacas, sin embargo durante los procesos de elaboración, puede presentarse contaminación cruzada al usar los mismos equipos que elaboran los productos con gluten, los cuales suelen quedar fuera de la lista de alimentos aptos para celíacos. Es decir, no basta que el alimento no contenga gluten, sino que también debe tenerse en cuenta las buenas prácticas de elaboración durante el proceso industrial.

El gluten está presente no solo en productos alimenticios a partir de harinas procedentes de cereales como trigo, cebada, centeno, avena, de los cuales se derivan pastas alimenticias, pasteles, galletas y pan entre otros, también está como ingrediente o aditivo en derivados cárnicos, salsas comestibles, aperitivos, golosinas, licores, bebidas, comidas congeladas e inclusive en ciertos medicamentos como excipientes. Por las anteriores razones, es muy importante realizar una constatación analítica de los alimentos libres de gluten antes de salir al mercado, para confirmar que no representan riesgo para las personas intolerantes (Gonzales, 2007).

##### **6.4.1 Ensayo Inmunoenzimático ELISA (Método Codex Stan 118 1979)**

La técnica ELISA (del inglés *Enzyme Linked Immunosorbent Assay*) consiste en un ensayo basado en el principio inmunológico del reconocimiento y unión de los anticuerpos a las moléculas que reconocen como extrañas (antígenos). Es un método inmunológico clásico, enormemente utilizado para gran cantidad de aplicaciones, por ejemplo, en el diagnóstico clínico, detección de virus, búsqueda de anticuerpos, entre otros (Ordaz, 2010).

Ensayos ELISA existen diferentes tipos, siendo los más utilizados para la detección de gluten, los ensayos tipo *sándwich* y los ensayos competitivos. En el

tipo *sándwich* son utilizados dos anticuerpos, el primario y el anticuerpo secundario, los cuales están unidos a una enzima, en este se establece una unión directa del gluten a los dos anticuerpos, el antígeno queda “atrapado” entre ambos (Ordaz, 2010).

En el ensayo ELISA competitivo, la muestra es incubada con el anticuerpo, luego esta preparación es añadida a una superficie recubierta de antígeno (por ejemplo, gliadinas de trigo) de tal forma que se une a la superficie el anticuerpo libre no unido al gluten de la muestra. Se detecta la cantidad de anticuerpo libre, a mayor cantidad de anticuerpo libre detectado, menos es la cantidad de gluten que contiene la muestra (Ordaz, 2010).

#### **6.4.2 Técnica de PCR**

La tecnología de PCR o Reacción en Cadena de la Polimerasa, consiste en la obtención de múltiples copias de un fragmento específico de ácido desoxirribonucleico (ADN), situado entre regiones de secuencia conocida a partir de una muestra compleja de ADN. (Rodrigo, 2013).

Mediante PCR se puede detectar gluten de manera indirecta. Esta técnica detecta el ADN responsable de la síntesis de las proteínas del gluten, proceso conocido como expresión genética y que constituye la base del funcionamiento de todos los seres vivos. Si en el diseño del ensayo PCR se utiliza un fragmento presente en gliadinas, secalinas, hordeínas y aveninas puede detectarse el ADN de todos los cereales con prolaminas tóxicas (Rodrigo, 2013).

#### **6.4.3 Técnica *Western Blot***

La técnica *Western Blot*, es muy similar a la prueba ELISA. La detección final de las proteínas (proteínas que conforman el gluten), es realizada mediante la unión de anticuerpos específicos anti-gluten y la utilización de enzimas unidas a estos mismos anticuerpos gracias a los cuales puede registrarse su unión al gluten (Gamen, 2010).

Este consta de varias etapas, la primera es la separación de las proteínas en función de su tamaño mediante electroforesis en gel, que utiliza una corriente eléctrica para la separación de las proteínas, estas son transferidas a membranas sintéticas donde son localizadas sobre la superficie de la membrana para su

detección. En la última etapa se produce la unión específica de la proteína a los anticuerpos y estos son detectados gracias a la enzima unida a ellos (Gonzales *et al.*, 2007).

El nombre de esta tecnología proviene de la transferencia de proteínas o *blotting*, característica principal de este tipo de ensayos, en los que se produce la inmovilización de las proteínas sobre membranas sintéticas, seguido de la detección (Gamen, 2010).

La prueba *Western Blot* sirve para confirmar que hay presencia de gluten después de haber confirmado su presencia con la prueba ELISA (Gonzales *et al.*, 2007).

#### **6.4.4 Biosensores y *lab-on-a-chip***

Un biosensor es un dispositivo compacto de análisis que incorpora un elemento de reconocimiento biológico (ácido nucleico, enzima, anticuerpo) asociado a un sistema que procesa la señal producida por la interacción entre el elemento de reconocimiento y la muestra. Los biosensores pueden reconocer la presencia, actividad o concentración de una molécula biológica (Comino *et al.*, 2013).

Esta tecnología de análisis está en desarrollo, para su aplicación en la detección de gluten respondiendo a la creciente demanda de las empresas alimentarias, de desarrollar nuevos métodos de detección de gluten más rápidos y baratos. Son tecnologías que pueden integrarse en los procesos de producción de las empresas de alimentación. Los *lab-on-a-chip* integran varias funciones en un mismo dispositivo, convirtiéndose en auténticos laboratorios en un chip. En el análisis de gluten, estos dispositivos aportan muchas ventajas; por ejemplo, se integra la extracción y detección del gluten con un tiempo total de análisis que no supera los 15 minutos. (Comino *et al.*, 2013).

#### **6.4.5 Tiras inmunocromatográficas**

La detección de gluten mediante tiras inmunocromatográficas es un método muy sencillo y rápido, similar a las pruebas de embarazo. El gluten debe extraerse de la muestra de alimento utilizando una disolución de extracción. Después de la extracción, la muestra se aplica sobre la tira, donde se encuentran los anticuerpos

que reconocen el gluten unidos a esferas coloreadas de látex. El gluten unido a estos anticuerpos se desplaza a través de la tira en un proceso cromatográfico de separación. Finalmente, el gluten y el anticuerpo unido se inmovilizan en una región de la tira, donde se puede detectar la presencia del gluten como una banda coloreada (Ordaz, 2010).

## **6.5 La medicina y la enfermedad celiaca**

La enfermedad celiaca es una intolerancia permanente a las proteínas del gluten insolubles en agua: gliadinas (trigo), secalinas (centeno), hordeínas (cebada) y posiblemente, aveninas (avena). Como consecuencia de la celiacía se tiene, una atrofia severa de la mucosa del intestino delgado, lo cual conlleva a un deterioro en la absorción de nutrientes, como lo son sales y vitaminas a nivel del tracto digestivo, cuya repercusión clínica y funcional depende de la edad y la situación fisiopatológica del paciente (Merlos *et al.*, 2013). Esta intolerancia es permanente, manteniéndose a lo largo de la vida y se presenta básicamente en sujetos genéticamente predispuestos a padecerla (Rodríguez, 2010). Las posibles causas pueden ser, la ausencia de lactancia materna, la ingestión de dosis elevadas de gluten, así como la introducción temprana de estos cereales en la dieta de personas susceptibles, estos pueden llegar a ser factores de riesgo para su desarrollo (Polanco, 2005).

La enfermedad celiaca puede presentar manifestaciones extra digestivas (retraso en el crecimiento, hipoplasia del esmalte dentario, estomatitis aftosa recidivante, artralgia, artritis) (Rodríguez, 2010).

### **6.5.1 Diagnóstico de la enfermedad celiaca**

La celiacía tiene una posición particular dentro de la concepción de «enfermedad» en relación con los procesos de medicación actuales. Está poco medicada a diferencia de otras enfermedades, lo que se debe principalmente al difícil diagnóstico, conocimientos y procedimientos no están todavía muy extendidos en el sistema médico, y los síntomas son frecuentemente asociados a otras patologías. También es necesario tener en cuenta, que el único tratamiento existente para la enfermedad celiaca, es a través de la dieta, por lo que el cuidado del paciente depende más de los alimentos ingeridos que de píldoras. Por ello, la industria farmacéutica está empezando a investigar, otras soluciones como la

creación de productos farmacológicos; se destaca, una investigación para encontrar vacunas que permitan a los celíacos ingerir gluten sin verse afectados (Marti, 2004).

Para saber si una persona puede estar padeciendo celiacía, se establece en primer lugar el diagnóstico de sospecha de la enfermedad celíaca, mediante un examen físico cuidadoso y una analítica de sangre, que incluya los marcadores serológicos de la enfermedad celíaca (anticuerpos anti endomisio y anti transglutaminasa tisular). Sin embargo, el conocimiento reciente de diferentes formas clínicas que presenta la enfermedad celíaca (clásica, silente, latente, potencial), demuestra que no se puede establecer un diagnóstico clínico de la enfermedad celíaca a partir de la sintomatología. Por ello, para un diagnóstico más acertado de la enfermedad celíaca es imprescindible realizar una biopsia intestinal, que demuestre que existe atrofia vellositaria (Merlos *et al.*, 2013).

Frecuentemente, la enfermedad celiaca se confunde con enfermedades con síntomas similares y no existe en la actualidad un tratamiento médico o cura diferente a la exclusión del gluten de la dieta. Si no se trata esta enfermedad con una dieta rigurosa, puede llevar a una mala absorción, con el tiempo a malnutrición y hasta un cáncer gástrico. Es especialmente grave en los niños y en adolescentes, que necesitan adecuar su nutrición para un desarrollo físico e intelectual adecuado. Las personas que no mantienen una dieta sin gluten cuentan con mayores posibilidades de desarrollar linfoma intestinal, anemia, diabetes mellitus, hipotiroidismo, osteoporosis, infartos y neuropatía periférica (Prieto, 2014).

Actualmente la enfermedad celíaca basa su diagnóstico, en el hallazgo de alteraciones específicas en la mucosa intestinal, los marcadores serológicos (autoanticuerpos) de elevada especificidad y sensibilidad, y los genes del sistema HLA (HLA-DQ2), que se comportan como un marcador de susceptibilidad genética de la enfermedad, han permitido identificar las formas no típicas de la enfermedad. El diagnóstico entre los familiares de celíacos y entre pacientes con enfermedades de reconocida asociación a la celiacía ha aumentado (Vargas, 2004).

El diagnóstico de la enfermedad celiaca se basa en primera medida por una sospecha clínica, luego la realización una serología específica (determinación de anticuerpos en la sangre), marcadores genéticos y finalmente el estudio de la biopsia intestinal, teniendo en cuenta que ninguna de estas pruebas por si solas puede confirmar el diagnóstico.

Se debe tener en cuenta que ninguno de estos exámenes, puede reemplazar a la biopsia intestinal en el diagnóstico de enfermedad celíaca, en el hallazgo de alteraciones en la mucosa, se toman biopsias múltiples de la segunda o la tercera parte del duodeno. La endoscopia se ha transformado en el método más conveniente para obtener biopsias de la mucosa del intestino delgado, la biopsia por aspiración o también llamada capsula de Crosby, brinda las mejores muestras (Guevara, 2002).

### **6.5.2 Tratamiento y prevención de la enfermedad**

El único tratamiento eficaz, conocido y disponible en la actualidad, de la enfermedad celíaca es llevar una dieta exenta de gluten de manera estricta y de por vida.

Para una persona celiaca, no basta con hacer una dieta que no contenga gluten por un determinado tiempo, para tener un estado de salud estable, se debe mantener en su dieta la exclusión del gluten de por vida, de lo contrario la sintomatología presentada inicialmente volverá, y probablemente de una forma clínica diferente a la presentada.

Se ha identificado un péptido de 33 aminoácidos, como el responsable de la intolerancia al gluten de los celíacos, el cual no puede descomponerse en el interior del intestino, descubriendo que esta molécula en contacto con una enzima bacteriana, la prolil-endopeptidasa (a nivel *in vitro*) actuaría sobre los péptidos residuales del gluten, absorbiéndose íntegramente en la mucosa intestinal, cortando el péptido en partículas no dañinas. Una píldora de esta peptidasa antes o con las comidas, reduciría la intolerancia al gluten de la persona que la padezca (García, 2003).

El diagnóstico de la enfermedad celiaca, se basa en tres procedimientos médicos, una serología, estudios genéticos y biopsia intestinal. A continuación, se encuentra información concerniente a cada uno de estos procedimientos.

#### **Serología**

Las pruebas directas en sangre, buscan cuantificar previamente los niveles séricos de IgA del paciente, ya que si hay deficiencia marcada de IgA (menor de 0.05 g/l), habrá que determinar los anticuerpos de la clase IgG. Actualmente, se

diagnostican los anti-tTG IgA, ya que su determinación es sencilla, rápida y asequible por la mayor parte de laboratorios, confirmándolos si es posible con los anti-EMA. Los anti-DGP de la clase IgG, también se determinan en menores de 18 años y en pacientes con deficiencia de IgA. Para el seguimiento de los pacientes con dieta sin gluten, la determinación de los anti-DGP de la clase IgA, parecen ser los más indicados. Las pruebas serológicas en el adulto, son menos sensibles que en el niño, dando frecuentemente falsos negativos, especialmente los anti-Tgt. Por esto, se están estudiando otros sistemas de detección, a emplear en un futuro próximo (Guevara, 2002).

Se encuentran varios marcadores serológicos disponibles, los cuales se detallan a continuación:

Anticuerpos Anti-Gliadina (AGA). Estos se empezaron a usar desde 1981, dirigidos contra las gliadinas (fragmentos del gluten), son poco específicos (suelen haber falsos positivos frecuentemente). Se siguen empleando en niños menores de 18 meses, ya que los niveles de otros anticuerpos, suelen ser negativos en dicho grupo de edad. Son de utilidad para el seguimiento, ya que se elevan pronto tras la ingesta de gluten, los más informativos son los de clase IgA (Portillo, 2009).

Anticuerpos Anti-Endomisio (AEM). Se empezaron a emplear en 1984. Realmente son anticuerpos anti-transglutaminasa tisular, pero se determinan mediante inmunofluorescencia indirecta. Son muy específicos, pero algo menos sensibles. La técnica es laboriosa y la interpretación subjetiva, los más informativos son de la clase IgA (San Miguel, 2013).

Anticuerpos Anti-Transglutaminasa tisular (anti-tTG). Utilizados desde 1997, se valoran mediante ELISA, más sensibles pero menos específicos. Los más informativos son de la clase IgA. Su respuesta positiva guarda una relación lineal con la presencia y severidad de la atrofia vellositaria en la mucosa duodenal (Sáez, 2012).

Anticuerpos Anti-Péptidos de Gliadina (anti-DGP). Dirigidos contra fragmentos de gluten, una vez han sido desaminados por la enzima transglutaminasa tisular, en el intestino. Utilizados desde el año 2000, se determinan también por técnica de ELISA. Más sensibles que los AEM, presentando una especificidad similar a los anti-Tgt, los más empleados son los de la clase IgG (Guevara, 2002).



## **Estudios genéticos**

Se conoce el compromiso del sistema HLA (antígeno linfocitarios humanos, ubicados en el brazo corto del cromosoma 6) y que es el sistema que vigila que las células del organismo sean propias.

Su presencia está relacionada con la aparición de diversas enfermedades autoinmunes y el análisis de histocompatibilidad imprescindible para la realización de ciertos trasplantes. De un modo simplificado, el HLA-II presenta innumerables variaciones (al igual que cada persona tiene una cara diferente, cada persona tiene una HLA diferente), pero existen una serie de variaciones del HLA que predisponen a padecer ciertas enfermedades. Así, el HLA-DQ2, se presenta en un 90% de los celíacos, lo cual no implica que tenerlo positivo signifique que tenga que desarrollar enfermedad celíaca (de hecho los celíacos son sólo un 2-5% de los portadores del HLA-DQ2). Cerca del 5% restante de celíacos, presentan el HLA DQ8 (+). Hay al menos un 5% restante de personas que son celíacas, y no tienen el heterodímero DQ2, ni el DQ8, o solo tienen un alelo del DQ2, por lo que su presencia no es obligada para el diagnóstico. Se están estudiando nuevos marcadores genéticos relacionados con esta enfermedad (Guevara, 2002).

## **Biopsias duodenales**

Se obtienen mediante la realización de una endoscopia digestiva alta, para llegar al duodeno, lugar en el cual se tomarán las biopsias, mediante una pinza introducida a través del endoscopio. Su duración media es de unos 5 minutos. Las biopsias duodenales se analizan después al microscopio, se deben tomar múltiples biopsias (4-6) de suficiente tamaño, bien orientadas antes de enviarlas para analizar, de las distintas porciones del duodeno (proximales y distales) para evitar errores de muestra, debido a la existencia de lesiones parcheadas (Sáez, 2012).

En la celiaquía grave clínicamente, se observa que las vellosidades están atrofiadas, es decir aplanadas. Si se compara con la mucosa de un individuo normal, la diferencia es claramente apreciable. En el celíaco tratado adecuadamente, la mucosa llega a normalizarse, resultando indistinguible de la de un individuo sano. La observación al microscopio tras tinción mediante hematoxilina-eosina e inmunohistoquímica con marcadores para linfocitos CD3, permite analizar la histología, el número y distribución de los linfocitos intraepiteliales (Sáez, 2012).

Su cuantificación ayuda a conocer mejor el grado de lesión según el sistema utilizado actualmente, como son los “criterios de Marsh” descritos en 1993, revisados por Oberhuber en 1996 (Sáez, 2012).

Independencia de los factores fisiológicos y clínicos, cada enfermo celíaco es una persona con características, rasgos psicológicos, experiencias, creencias y vivencias particulares, que condicionan su afrontamiento de la enfermedad.

## **6.6 Legislación sobre alimentos sin gluten**

El referente legal colombiano es la Resolución 5109 del 29 de Diciembre de 2005 del Ministerio de Protección Social, en cuanto a lo que tiene que ver con las Normas Generales sobre rotulado o etiquetado. Allí se contemplan aspectos específicos, de lo que debe contener el rótulo de toda materia prima y alimento envasado en Colombia, del material con el que deben ser empacados los alimentos y de cómo deben etiquetarse. Se estipula también, que cuando se encuentre posible presencia de alérgenos en los alimentos, como es el caso del gluten, estos deben ir especificados en el etiquetado para que el consumidor lo tenga presente, y decida si el producto es apto para su consumo.

Norma del *Codex* relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten *Codex Stan 118 – 1979, 2008*

El *Codex Alimentarius (Codex Stan 118-1979, 2008)* establece que los alimentos exentos de gluten, son los que están constituidos o elaborados únicamente con uno o más ingredientes que no contienen trigo, centeno, cebada, avena, o variedades híbridas cuyo contenido de gluten no sobrepase los 20 ppm en total, medido en los productos terminados. Además, establece que los productos que sustituyan alimentos básicos importantes, deberían suministrar aproximadamente la misma cantidad de vitaminas y minerales que los alimentos originales a los que sustituyen (*Codex Alimentarius, 2008*).

La importancia del rotulado de alimentos adquiere mayor relevancia en los últimos años, dado el incremento de la variedad de productos alimenticios que se ofrecen, las vías de distribución, el intercambio, la presentación y promoción de los mismos, que despiertan el interés de los consumidores , por ello, la información provista en los rótulos debe ser simple y de fácil comprensión, de este modo, los consumidores conocerán las propiedades de los alimentos, y con ello tomarán decisiones más acertadas en la adquisición de estos productos.

Se considera rótulo a toda inscripción, leyenda, imagen, materia descriptiva o gráfica que se haya escrito, impreso, estarcido, marcado, marcado en relieve, huecograbado o adherido al envase del alimento, destinada a informar al consumidor sobre las características de un alimento, su forma de preparación, manipulación y conservación, sus propiedades nutricionales y su contenido (Gonzales, 2010).

La Unión Europea, en el 2012, aceptó como normativa lo dicho en el *CODEX STAN 118/1979*, considerando que “los productos aceptados como libres de gluten puedan contener uno o más ingredientes, que sustituyan los cereales prohibidos pero con un nivel de gluten que no supere 20 ppm en los alimentos”. Luego cada país europeo adapta esta normativa a su realidad. En la figura 3 se puede ver el símbolo internación, que se usa con frecuencia para indicar cuando un alimento es considerado sin gluten (Pellicer *et al.*, 2014).



Símbolo sin gluten internacional

Figura 3. Símbolo internacional que indica la ausencia de gluten en los alimentos. Fuente: Pellicer *et al.*, 2014.

La “Dieta sin gluten” no significa, necesariamente, que los alimentos no puedan contener gluten, sino que la cantidad que puede contener un alimento tiene que estar por debajo de un determinado punto de corte. Esto está regulado, a nivel internacional, por el *Codex Alimentarius*, donde se establece la cantidad de gluten límite, que puede contener un alimento, para ser considerado como alimento libre de gluten. El *Codex Alimentarius*, actualmente, define a todo alimento que no contenga gluten como “aquel que, además, de no tener ningún rastro de trigo, cebada, centeno y avena en su composición, cumpla con el requisito que determina la cantidad máxima de gluten admisible, que el alimento debe contener menos de 20 ppm” (*Codex Alimentarius*, 2008).

La norma del *CODEX STAN 118/1979*, establece para Europa, que un alimento libre de gluten, es aquel que contienen hasta 20 ppm (20 mg/Kg) y como reducidos, los que contienen entre 20 y 100 ppm. Australia y Nueva Zelanda,

establecieron que un alimento libre de gluten, es el que no contiene gluten detectable y como bajos en gluten, los que no superan los 20 ppm. Argentina permite como máximo 10 ppm para “alimentos libres de gluten”, esta norma también se aplica para alimentos importados. En la mayoría de los países latinoamericanos, se toma como referencia para determinar si un alimento es libre o reducido en gluten, lo establecido por el *CODEX STAN 118/1979* para Europa, por lo anterior se puede decir que en Latinoamérica, Argentina es uno de los países más riguroso en esta reglamentación, porque permite hasta 10 ppm a diferencia de Europa donde el máximo contenido es 20 ppm (Pellicer, 2014).

La normatividad representa tranquilidad y confianza para las personas celiacas, al momento de consumir este tipo de alimentos. Como se ha visto, esta puede variar en cada país, por la libertad que tiene cada uno, de crear sus normas de acuerdo a lo que considere mejor, para proteger la salud de las personas y los animales que habiten en él (*Codex Alimentarius*, 2008).

Aunque la medicina más efectiva en el tratamiento de la enfermedad celiaca, es una dieta exenta de gluten, no resulta nada fácil seguirla, con frecuencia es adicionado a muchos alimentos de fabricación industrial, por esto es preferible el alimento natural frente a los manufacturados industrialmente. En caso de utilizar los alimentos industrializados, es imprescindible leer las etiquetas: todos aquellos en los que figura que contengan estas harinas, malta, cereales, almidones modificados o E-1404, E-1410, E-1412, E-1413, E-1414, E-1420, E-1422, E-1440, E-1422; estos deben ser eliminados de la dieta (Calvo, 2003). En la tabla 1 se puede observar la cantidad de gluten, que por normativa es admitida en los alimentos libres de gluten en algunos países.

**Tabla 1. Cantidad de gluten admitida en diferentes países**

<b>País</b>	<b>Cantidad de gluten admitida (ppm)</b>	<b>Organismo regulador</b>
<b>Colombia</b>	20	<i>Codex Stan 118-1979, 2008</i>
<b>España</b>	10	FACE (Federación de Asociaciones de Celiacos de España)
<b>EE.UU.</b>	20	FDA (Food and Drug Administration)
<b>Australia</b>	3	FSC (Food Standards Code)
<b>Argentina</b>	10	SNCA (Sistema Nacional de Control de Alimentos)
<b>Suiza</b>	10	DFI (Departamento Federal Interno)
<b>Canadá</b>	20	FDR (Food and Drug Regulations)

Fuente: La autora, 2015.

## **7 INVESTIGACIÓN DE LA ENFERMEDAD CELÍACA Y RESPUESTAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

La importancia de las investigaciones y de la respuesta que pueda brindar la industria a través de los productos elaborados, radica en que el gluten está presente en muchos productos habituales en cualquier dieta. La solución a este problema se da mediante proyectos de investigación, desarrollo e innovación, centrándose en nuevos productos, con mínimo contenido de gluten o sin gluten (Mosquera *et al.*, 2012).

En la mayoría de las investigaciones, se han encontrado retos diferentes. Como ejemplo, se tiene la elaboración de pan con harinas en base a cereales diferentes al trigo, la cebada, el centeno y la avena, los cuales contienen gluten y cuyo reemplazo da origen a harinas con características distintas, en especial lo referente a una masa viscoelástica que sea capaz de retener el gas (CO<sub>2</sub>) producido durante la fermentación (Sánchez *et al.*, 2009).

El maíz no otorga estas características por la ausencia de gluten, pero se ha demostrado, que tratando la zeína, una proteína del maíz, fue posible producir una masa semejante a la del trigo y elaborar panecillos al estilo tradicional (Mosquera *et al.*, 2012). Los productos desarrollados deben confirmarse por medio de análisis, que no representan ningún riesgo para la salud de los celíacos, antes de ser comercializados.

### **Alimentos desarrollados para personas celíacas**

Los celíacos tienen que ingerir alimentos sin gluten para llevar una dieta sana y equilibrada, estos son usualmente más caros, que los productos que compra el resto de la población, lo que dificulta su acceso por parte de las personas afectadas. Esto quiere decir que el alimento sin gluten, se puede incluir limitadamente en la canasta familiar, pero la situación tiende a mejorar debido al gran aumento de líneas en alimentos de este tipo. Sin embargo, la fabricación de dicho alimento sale más costosa, por los cuidados que se deben tener con respecto a los procesos y los equipos, para evitar posibles contaminaciones. Todo lo anterior hace que el costo del producto se incremente con respecto a otro común que se encuentre en el mercado.

Las harinas de cereales, pastas, productos de panadería, suelen ser alimentos que son de uso cotidiano para la mayoría de las personas, pero los celíacos tienen acceso limitado a estos. Estos alimentos proceden de materias primas que contienen gluten, genera ciertas características propias a los alimentos, como por ejemplo la viscoelasticidad en la masa para el pan, haciéndolos muy difícil de reemplazar por otro cereal. Los cereales TACC (trigo, avena, cebada y centeno) no son utilizados solo para productos de panadería, la realidad es que están presentes en muchos tipos de productos alimenticios como lo son: salsas alimentarias, carnes frías condimentos y platos de postres que contengan harina o almidón, cerveza entre otros y presentes también, como un aditivo que aporta propiedades al producto.

El trigo es el cereal más utilizado para la elaboración de productos como, panes, galletas, pastas alimenticias, harinas, sémolas, productos de repostería entre otros, por las propiedades que las proteínas del gluten le aportan al proceso de elaboración. En la masa para pan, el gluten muestra sus propiedades gracias a las interacciones por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno, entrecruzamientos e interacciones hidrofóbicas para formar una red continua, que es la base para el desarrollo y retención de gas en la masa, y su visco elasticidad, característica propia que le aportan las proteínas del trigo en los productos de panadería, cualidades muy difíciles de lograr con otro cereal. Se han desarrollado muchos estudios e investigaciones con cereales diferentes a TACC que no tienen gluten, debido al aumento del número de personas que padecen la enfermedad celíaca. Esta por ser una deficiencia genética que requiere una dieta exenta de alimentos con gluten de por vida, en muchos casos, por miedo a una contaminación cruzada durante la preparación de los alimentos, resulta siendo modificada no solo la dieta del afectado sino también la de todo el núcleo familiar del celíaco.

En la elaboración del pan, los cereales más utilizados son el maíz y el arroz, porque otorgan ciertas características organolépticas, pero por la ausencia de gluten y al no ser utilizado algún tipo de aditivo en la masa, este llega a ser de consistencia plana y más compacta, dando como resultado poca aceptación por parte del consumidor.

## 7.1 Pan de molde con harina de arroz y adición de goma xanthan y hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)

El arroz es una gramínea que pertenece al género *Oriza* Lin. No contiene gluten en su composición, haciéndolo apto para ser utilizado en la elaboración de productos alimenticios para personas con celiaquía (intolerantes al gluten), posee propiedades hipoalergénicas, un sabor suave, poco contenido en grasas y baja proporción en sodio, de fácil digestión y un candidato muy utilizado en los productos de panificación. Sin embargo, el pan hecho con harina de arroz, no resulta con buena aceptabilidad en comparación con los elaborados con harina de trigo, esto se debe a la deficiencia que tienen para poder formar una fase continua y una estructura de masa, por la falta de propiedades viscoelásticas, que solo poseen las proteínas formadoras de gluten presentes en el trigo, por esta razón se deben usar aditivos que ayuden a mejorar las características (Moran *et al.*, 2013).

Para la elaboración del pan con goma santana o *xanthan*, fueron utilizadas dos tipos de masa, una con el 0.5% y otra con 1.0%, durante el proceso se observó que no pudo retener el CO<sub>2</sub> eficientemente en la fermentación y el horneado, esto se deduce debido a la poca diferencia estadística entre las masas en cuanto al volumen del pan. Los panes con 0.5% de goma *xanthan* presentaron una relación ancha/alto menor indicando un pan plano y compacto. Además, visualmente tiene una apariencia no deseada, y su corteza no estaba bien proporcionada en comparación a los panes con un 1% de goma *xanthan* que presentaron más altura, como se puede ver en la figura 3.



Figura 4. Relación ancho/alto de la goma xanthan. Fuente: K. Soledispa K., 2013



Al adicionar HPMC al 2%, el pan de arroz tuvo un aumento significativo en el volumen específico, en comparación con HPMC al 1%. El HPMC mejoró las masas al formar una especie de red semejante a la estructura del gluten, consiguiendo de esta forma, la encapsulación de gas durante el proceso de fermentación y horneado. El incremento de volumen específico favoreció la relación ancho/alto, mejorando con esto la proporción en su estructura y miga, como se muestra en la figura 4.

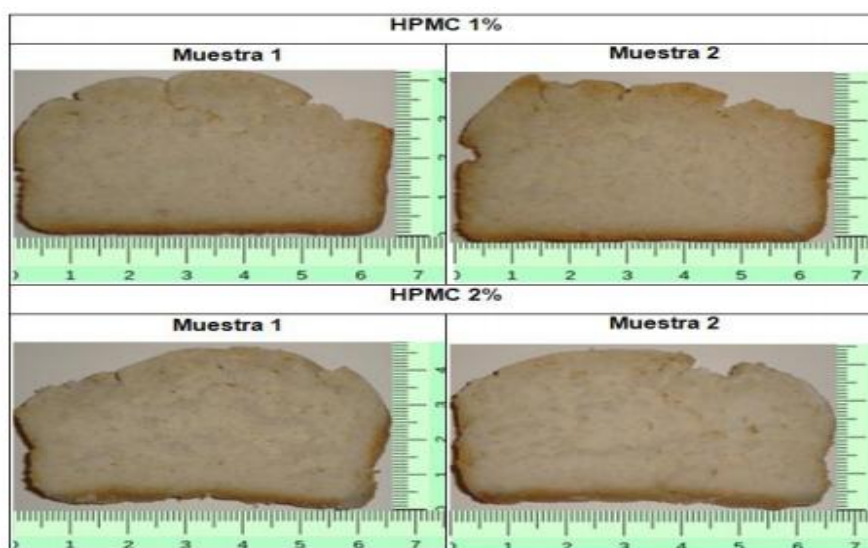


Figura 5. Relación ancho alto del HPMC. Fuente K.Morán, K. Soledispa, 2013

Las características físicas, presentaron diferencias significativas en su relación ancho/alto y volumen específico en los panes analizados, esto fue debido que al utilizar goma xanthan, no se formó una estructura tipo red suficientemente fuerte para encapsular el gas formado durante la fermentación, por lo cual la masa colapso durante el horneado, obteniendo panes con bajos volúmenes específicos y miga muy apretada. Sin embargo, los panes elaborados con HPMC al 2% visualmente mostraron una mejor estructura, una buena apariencia y mejor miga con un volumen específico mayor al obtenido con HPMC al 1% (Moran *et al.*, 2013).

Se concluyó que el uso de HPMC al 2% fue la mejor alternativa para la elaboración de pan de arroz, debido que estos formaron una especie de red suficientemente fuerte para retener el gas durante el leudado, presentando un incremento en el volumen y una textura al tacto más suave.

## **7.2 Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) y harina de arroz (*Oriza sativa*) para celíacos**

Un producto alimenticio dirigido a personas celiacas, se desarrolló mediante un pan con harina de amaranto y arroz, aprovechando la calidad y el alto valor nutritivo del amaranto, lo cual es de gran aporte nutricional en la elaboración del pan (Mosquera *et al.*, 2012).

A la mezcla para la masa, además de agregar los ingredientes habituales, se usaron otros como lo son goma guar y almidón modificado, para mejorar las características del pan. El resultado final fue un pan con alto nivel nutritivo y elevado contenido energético, aprovechando las características nutricionales del amaranto y del arroz. En la elaboración después de haber probado diferentes proporciones de amaranto, harina de arroz y almidón modificado, se pudo establecer que la formulación con mejores características, fue aquella que requería 50.46% harina de amaranto, 6.31% harina de arroz y 6.31 almidón modificado de maíz, resultando ser un pan agradable en cuanto a las características físicas.

## **7.3 Influencia de la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), el *psyllium* y su combinación en las propiedades morfogeométricas y texturales de panes sin gluten elaborados con harina de arroz**

Las gomas o hidrocoloides son polisacáridos de origen natural o modificado fundamentales para la elaboración de panes sin gluten. Sus propiedades tecnológicas mejoran la textura y la apariencia de los panes sin gluten, llegando incluso a imitar las cualidades del gluten (Marioti *et al.*, 2013). La hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) es una celulosa parcialmente eterificada, por grupos metilos y que contiene una pequeña proporción de grupos hidroxipropilos de sustitución. Esta modificación química se convierte en un polímero soluble en agua con una alta capacidad de hidratación, incluso con cambios bruscos de temperatura (Sarkar *et al.*, 1995).

El *psyllium* es una fibra alimentaria con propiedades tecnológicas emulsionantes, estabilizantes y espesantes, compuesta de hidratos de carbono complejos, almidones resistentes y lignina, al igual que el gluten, es estable a distintos niveles

de pH y temperatura en los alimentos, estas propiedades permiten su aplicación en la industria alimentaria, siendo un ideal sustituto de las grasas, e incluso puede llegar a actuar como un emulsionante o agente espesante (Farahnaky *et al.*, 2010).

Para la elaboración de este tipo de pan, fueron utilizadas diferentes dosificaciones de *phylum*, HPMC y variación en la cantidad de agua adicionada. Durante el procesamiento se pudo observar que la hidratación juega un papel importante en estas preparaciones en cuanto al volumen. La fibra alimentaria tiene una capacidad de hidratación y retención de agua mayor a la del HPMC, lo que fue considerado como una ventaja, porque disminuye la pérdida de agua por condensación durante el enfriamiento, evitando la disminución considerada de volumen, haciendo más rentable el proceso de panificación (San Miguel, 2013). El *phyllium* en la elaboración del pan sin gluten, observando los resultados obtenidos, se pudo ver que a mayor cantidad utilizada en el proceso, la relación altura/ancho disminuye notablemente, debilitando la estructura de los panes, e impidiendo así el aumento de volumen durante la fermentación y cocción. De lo anterior se puede observar que juega un papel importante en la panificación, pero se debe tener cuidado con la dosificación para obtener resultados favorables (San Miguel, 2013).

El HPMC aporta efectos de mejora en el incremento del volumen específico de los panes sin gluten. Cuando las cadenas hidratadas de HPMC fueron sometidas a altas temperaturas, estas liberan el agua asociada a ellas, permitiendo una interacción más fuerte entre sus cadenas, permitiendo la formación de una red, capaz de reducir las pérdidas de gas y mejorando el volumen específico del pan. El aumento en su dosificación no afecta de manera notable la preparación, a diferencia del *phyllium* (San Miguel, 2013).

Se puede concluir que el uso de *psyllium* junto con HPMC en su justa medida es una buena alternativa para el desarrollo de panes libres de gluten, siempre y cuando se utilicen las proporciones adecuadas de agua en función del pan que se busque.

#### **7.4 Formulación/diseño de nuevas salsas funcionales libres de gluten: estudio de sus características fisicoquímicas, microestructurales y sensoriales**

Durante los últimos años, el consumo de salsas aumentó considerablemente, debido a los nuevos hábitos alimentarios de los consumidores. Las salsas son una

parte importante de la dieta y representan productos con un alto valor añadido. Los ingredientes típicos de la salsa blanca (bechamel) son la leche, el aceite, la harina o almidón y la sal. Entre estos diferentes ingredientes, el almidón influye de forma decisiva en las propiedades texturales de la salsa, pero ésta podría no ser apta para enfermos celíacos, cuando son utilizadas materias primas como la harina de trigo que contiene gluten, o cuando el almidón utilizado, pudo haber sufrido una contaminación cruzada (Arocas *et al.*, 2009).

Para la elaboración de las salsas, fueron utilizados dos tipos de almidón, el nativo y *waxy* modificado, con dos concentraciones diferentes 4% y 6%, y la adición de pimienta que contiene compuestos bioactivos, se observaron diferencias significativas de características en las diferentes preparaciones.

La viscosidad aparente, independiente de la cantidad de almidón utilizado, se observó la diferencia de su valor en las mezclas, la de almidones modificados fue mayor que la del almidón nativo, estos valores varían al incorporar pimienta dentro de la mezcla, ciertas cantidades hicieron que las salsas con almidón nativo aumentaran su viscosidad, mientras que en la del modificado le otorgó cierta fluidez y homogeneidad significativas después de la adición de pimienta, esto se debió probablemente, a los gránulos que presentan un menor grado de gelatinización, al tener que competir con más ingredientes por el agua, y también a la compactación de la fase continua, al adicionar pimienta en la salsa con almidón nativo generando una apariencia compacta, la fase continua de la salsa con almidón modificado, al adicionar el pimienta se hizo más homogénea y fluida (Gómez, 2014).

La pérdida de estabilidad o sinéresis, es la liberación de agua por medio de un proceso de retrogradación del almidón, durante el enfriamiento de las salsas las cadenas moleculares de amilosa, y en menor medida las de amilopeptina, se reorganizan favoreciendo la lixiviación de agua. Este es un aspecto negativo para la calidad de las salsas y podría ser una causa de rechazo por parte del consumidor. Para saber la estabilidad de cada salsa, estas fueron almacenadas durante 15 días a temperatura de refrigeración, se observó que las salsas con almidón modificado, no presentaron sinéresis durante este tiempo, en ninguna de sus mezclas, mientras que las elaboradas con almidón nativo si presentaron pérdida de estabilidad en todas sus salsas, independientemente que tuvieran pimienta o no es decir que no influye en el resultado de estabilidad. De acuerdo a los resultados obtenidos las salsas blancas elaboradas con almidón modificado, son más estables al almacenamiento en refrigeración, ya que en estas no se produce sinéresis (Gómez, 2014).

## 7.5 Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas

Para poder obtener una mezcla constante, las muestras extruidas de harina de arroz necesitaron mayor cantidad de agua que las muestras sin extrudir, en las cuales los valores más altos son para las muestras con mayor grado de cocción es decir extruidas a 15% de humedad. En los valores del volumen específico de los panes, se presentaron diferencias significativas para las muestras sin extrudir y las extrudidas, observándose que los panes elaborados con las harinas sin extrudir provenientes de los genotipos *no-waxy*, mostraron mayores volúmenes que las muestras *waxy*, por otro lado, los resultados con las harinas extrudidas, en ambas condiciones, mostraron que había mayor volumen específico con las variedades *waxy* que con las variedades *no-waxy*, este comportamiento diferente de las harinas de los genotipos *waxy*, se puede explicar si se tiene en cuenta que la presencia de mayor actividad enzimática de las harinas *waxy*, puede debilitar la estructura del granulo de almidón, atacando las cadenas de amilosa y amilopeptina durante el horneado, produciendo una fase continua de menor consistencia, que tendría menor capacidad para retener los gases y por ende produciría panes de menor volumen específico cuando se trabaja con las muestras sin extrudir (Sánchez *et al.*, 2009).

El tratamiento termo mecánico que produce la cocción por extrusión inhibe la acción de la alfa amilasa, mientras que el alto grado de cocción alcanzado por los genotipos *waxy* sería el determinante para revertir en forma significativa los resultados de volumen específico del pan. En cuanto mayor fue el grado de cocción se obtuvo un mayor volumen del pan, explicándose por la circunstancia que al aumentar los sólidos solubles aumentaría la consistencia de la fase acuosa de la mezcla, mejorando las características visco elásticas de la misma. Fueron encontradas diferencias en la evaluación de estructura de la miga de los panes sin gluten, para las distintas condiciones de extrusión, la estructura de miga de los panes elaborados con harina de arroz sin extrudir, provenientes de los genotipos *no-waxy*, tuvo mejor calidad que la correspondiente a los arroces *waxy*, en donde los panes tuvieron estructura de miga con alveolos más grandes y de distribución heterogénea (Sánchez *et al.*, 2009).

Para la condición de extrusión de 15% de humedad se obtuvieron los mejores resultados para todas las muestras. Tenían una tendencia a presentar alveolos más pequeños y distribuidos de manera más uniforme. Se debe destacar especialmente la buena estructura de las migas correspondientes a los panes elaborados con los genotipos *waxy*, teniendo en cuenta que las muestras *waxy*

extruidas, permitieron obtener panes de mejor calidad que los producidos con las harinas *waxy* sin extruir (Sánchez *et al.*, 2009).

Para la condición de extrusión a 30% de humedad, las muestras correspondientes a los genotipos *no-waxy*, se obtuvieron panes con deterioro en la estructura de la miga con puntajes más bajos aun que los obtenidos cuando se utilizaron las harinas en estado nativo. En cambio, la estructura de la miga de los panes elaborados con harinas de los genotipos *waxy*, mantuvieron la calidad, con alveolos pequeños y distribución uniforme. Similarmente al caso del volumen específico, el grado de tratamiento térmico durante la extrusión jugó un papel importante en la calidad de la miga. En general y para los genotipos *waxy* en particular, la condición de extrusión que produjo los mayores grados de cocción (15%), también produjeron los panes con mejores características de miga, alveolos pequeños y distribuidos de manera homogénea (Sánchez *et al.*, 2009).

En la elaboración de pan sin gluten, el reemplazo en la formulación del 100% de la harina de arroz *no-waxy* sin extruir por la misma harina, pero extruida con 15% de humedad (alto grado de cocción), mejoró notablemente la calidad del pan. Cuando se utilizaron harinas extruidas de genotipo *waxy* al 15% y al 30% de humedad, se obtuvieron panes significativamente mejores tanto en el volumen de pan como en la calidad de la estructura de miga. Haciendo que estos genotipos fueran especialmente aptos para la elaboración de pan sin gluten cuando reciben un tratamiento térmico por extrusión, lo que puede ser explicado a través de la mejora que ocurre en el comportamiento viscoelástico, lo que además podría hacer disminuir o eliminar de la formulación a los hidrocoloides normalmente utilizados (Sánchez *et al.*, 2009).

## **7.6 Efecto de la adición de harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de tortas y panquecas.**

La harina de yuca está siendo utilizada como sustituto del trigo, cebada y centeno en el desarrollo de productos alimenticios para celíacos en países desarrollados. Sin embargo, en países ubicados en el trópico, donde es un cultivo de importancia, no existen suficientes estudios, ni desarrollo de productos con estos fines. Estos nuevos alimentos pueden ser diferentes en palatabilidad a los productos convencionales elaborados con harina de trigo, por lo que deben reformularse para que puedan ofrecer las mismas características sensoriales y la aceptación (Alvarado, 2009).

Se evaluó el efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de yuca, en niveles de 30% y 100% sobre las características de tortas y panquecas. Las tortas con harina de yuca presentaron menores valores de firmeza y masticabilidad, por lo que requieren menos fuerza para ser comprimidas entre los molares, así mismo presentaron menor cohesividad y gomosidad, lo que refleja una menor tendencia de las partículas a mantenerse unidas; es decir, se desmoronaron más fácilmente en comparación con la torta de trigo, estas tendencias se mantuvieron durante el tiempo de almacenamiento. Al observar los valores de elasticidad, se encontró que las tortas de trigo presentaron menor capacidad para recuperar su forma original que la torta elaborada con 30% harina de yuca, pero similar tendencia que la torta 100% harina de yuca, esta diferencia no se percibió durante el almacenamiento (4 y 9 días) (Alvarado, 2009).

El fenómeno de la dureza de las tortas apenas ha sido estudiado, pero se conoce que en este tipo de productos se desarrolla un sistema complejo donde algunos ingredientes interactúan entre ellos afectando la textura, en general este fenómeno es atribuido a la deshidratación de la miga, lo cual puede ser evitado usando adecuados empaques (Alvarado, 2009).

Las panquecas elaboradas con 100% harina de trigo y 100% harina de yuca fueron las que presentaron mayor firmeza, gomosidad, elasticidad y masticabilidad, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre ellas, por el contrario, la mezcla de harina de trigo y yuca fue la que presentó los valores más bajos para esos parámetros. Es importante resaltar el efecto sinérgico de la mezcla de harinas sobre la mejora de los parámetros de textura.

En cuanto a la resistencia a la extensión, se encontró que la panqueca 100% yuca requirió mayor fuerza para estirarse (por lo tanto, más resistencia) y además fue más extensible que las otras dos, por los cambios encontrados en los parámetros de textura y resistencia, en los perfiles viscoelásticos de las pastas formadas por la gelificación del almidón. En general, es conocido que la yuca produce geles más viscosos y menos firmes que el almidón de trigo, por otro lado, la presencia de proteínas formadoras de gluten en la harina de trigo, podría explicar la mayor firmeza de las panquecas elaboradas con harina de trigo (Alvarado, 2009).

Una simple evaluación indica una clara diferencia, en la estructura de la miga entre las tortas elaboradas con harina de yuca a la torta de trigo, lo que además fue estadísticamente significativo, el uso de la harina de yuca aumento el tamaño promedio del alveolo en la miga, encontrándose que la uniformidad de la miga, disminuyo con la incorporación de yuca en la formulación. La torta de trigo

presento una miga con un grano más fino, en mayor proporción que en las tortas elaboradas con yuca, por las diferencias encontradas en la estructura de la miga, es necesario profundizar en este tema y evaluar la incorporación de algún aditivo (goma, hidrocoloide, emulsificante) o modificaciones en la técnica de preparación del batido a fin de minimizar las diferencias observadas, en especial la presencia de canales en la miga que pudieran ser considerados como defectos en este tipo de productos (Alvarado, 2009).

Las panquecas y las tortas no mostraron tendencia a retrogradar, por lo que las formulaciones propuestas permitieron productos más suaves. El uso de harina de yuca en la preparación de las tortas produjo el oscurecimiento de la miga, y en las panquecas el oscurecimiento de la corteza. La sustitución de la harina de trigo por harina de yuca, permitió conseguir tortas y panquecas más suaves, mejor masticabilidad y menos gomosas. El empleo de harina de yuca en las panquecas no afectó la resistencia a la extensión, consiguiendo con esto formular tortas con formulación parcial o total de harina de yuca, sin que ocurriera colapso de la estructura de la miga. Los resultados indicaron la factibilidad de la sustitución parcial o total de la harina de trigo por harina de yuca en tortas y panquecas (Alvarado, 2009).

### **7.7 Efecto de la adición de enzima transglutamasa en el desarrollo de pan a base de harina de quinua (*Chenopodium quinua* Will)**

La quinua es un pseudo cereal de alto valor nutritivo, escasamente utilizado en la industria alimentaria. Por ello, se ha empleado la quinua en la elaboración de pan, adicionando en su formulación enzima transglutaminasa (Tg), con el fin de entrecruzar las proteínas de la harina de quinua y crear una red proteica que supla la ausencia de gluten (Vargas, 2011).

La enzima transglutaminasa (Tg), es una cadena polipeptídica de 331 aminoácidos con un peso molecular de 38.000 daltons. Esta enzima cataliza la modificación postraduccional de proteínas, principalmente mediante el entrecruzamiento proteína-proteína, pero también a través de la conjugación covalente de poliaminas, esterificación de lípidos o la desamidación de residuos de glutamina. Como toda enzima, actúa bajo ciertas condiciones de temperatura, tiempo y pH (Arrizubieta, 2007).

El pan fue elaborado con los ingredientes que comúnmente son adicionados, como lo fueron levadura, sal, azúcar, agua, y reemplazando la harina que



normalmente se usa, por harina de quínoa y enzima transglutaminaza en diferentes cantidades, siendo sometida esta última a diferentes tiempos para la formación de la red proteica (15, 30 y 45 minutos). también fueron elaborados otros panes que no contenían Tg, para su posterior comparación, los panes fueron comparados entre sí para observar las posibles diferencias entre ellos, en los que no tenían Tg se presentó un volumen bajo con variación entre ellos, mientras que en los panes con Tg, el volumen fue mayor no presentando mucha variabilidad entre ellos, esto puede explicarse por la presencia del soporte proteico brindado por la enzima, que es similar al que brinda el gluten al ser incorporado en la elaboración de panes con harina de quínoa (Vergara, 2011).

La adición de enzima Tg tiene un efecto en el volumen específico del pan, esto promueve también a la formación de una red proteica, que a su vez promueve el volumen final del pan, sin embargo, esto no sería posible sin los residuos de glutamina y lisina presente en la harina de quínoa, ya que estos aminoácidos son el sustrato para llevar a cabo la reacción de entrecruzamiento (Moore *et al.*, 2006).

Las muestras que no contenían enzima Tg, no poseen una red proteica, por lo tanto tenían una retención de gas, lo que originó una baja porosidad, un bajo volumen, y paredes más gruesas, que aumentaban la resistencia a la deformación, y por ende su dureza (Vergara, 2011).

Se observaron diferencias significativas entre las muestras que contenían enzima Tg (en cualquier grado) y las que no lo hacían, concluyéndose que la adición de enzima Tg modificó el comportamiento de la harina de quínoa en todas las formulaciones de una manera positiva para la preparación (Vergara, 2011).

## **7.8 Desarrollo de una pre-mezcla para pizza a base de harina de grano entero de sorgo y mijo**

La elección de la pizza como variante de alimento se fundamenta, en que es un producto consumido masivamente en todos los sectores de la sociedad, por personas de todas las edades, además es un alimento muy utilizado como menú en las fiestas informales, lo que se convierte en una alternativa muy adecuada para los festejos de grupos de personas en los cuales se incluye una persona celíaca. Cuando este producto se ofrece como premezcla en polvo hace que sea fácil de comercializar y de manipular en el hogar (Aimaretti *et al.*, 2011).

El comportamiento de una masa durante su procesamiento y la calidad de los productos finales, dependen fundamentalmente de los ingredientes, y del tipo de proceso de elaboración que se aplique, es decir que variando los ingredientes o sus proporciones se pueden obtener una gran variedad de productos, siendo en este caso la harina sin gluten el ingrediente de mayor influencia en el desarrollo de nuevos productos panificados.

En función de experiencias anteriores, se tomó como harina a la mezcla de 32% de sorgo, 32% mijo, 32% almidón, y 4% almidón resistente, dado que fue la formulación que presentó mejores propiedades tecnológicas. En virtud que la harina propuesta no posee gluten, fue imprescindible seleccionar un agente leudante que mediante la producción de gases permitiera mejorar el desarrollo de alveolos, dando características de esponjosidad y suavidad a la masa. Los agentes ensayados fueron levaduras biológicas secas en gránulos y leudante químico, agregados a la formulación estándar de las premezclas en proporciones porcentuales. El análisis visual y sensorial de las pizzas obtenidas, con estas muestras permitió advertir que al utilizar levaduras biológicas como agente leudante es posible mejorar, respecto de las muestras con leudante químico, la consistencia, el alveolado y la textura de la masa, sin que se modificara el color, sabor y el olor de las mismas, se decidió usar como agente leudante la levadura biológica seca en gránulos con proporción del 10% del peso de la harina usada en la pre-mezcla (Aimaretti *et al.*, 2011).

Hoy en día, en la industria de panificados se cuenta con una gran variedad de aditivos que permiten mejorar los atributos sensoriales de las masas, principalmente cuando éstas se elaboran con harinas de baja calidad panadera. Por este motivo se evaluó el comportamiento de la pre-mezcla al adicionar un aditivo con: un agente oxidante como el ácido ascórbico que favorece la formación de puentes bisulfuros y así aumenta la tenacidad; y con agentes espesantes, gelificantes y estabilizantes, como la carboximetilcelulosa (CMC) y la goma xántica. El mejor resultado que se obtuvo fue cuando se utilizó ácido ascórbico y CMC, destacándose por ser menos pegajosa y más cohesiva, logrando además un mejor comportamiento durante el horneado, que se manifiesta en notables diferencias de esponjosidad y de calidad global en el producto obtenido (Aimaretti *et al.*, 2011).

Combinando las harinas de grano entero de sorgo y de mijo con almidones y aditivos fue posible mejorar sus propiedades panaderas y así desarrollar una formulación en polvo apta para preparar pizzas caseras a base de harinas de grano entero de sorgo y de mijo. De este modo se contribuye a aumentar la

disponibilidad de alimentos sin TACC con propiedades funcionales, de elevado valor nutricional y sensorialmente aceptables.

### **7.9 Desarrollo de una bebida fermentada a base de quinua (*Chenopodium quinua*) Quigü**

La quinua es la única fuente de proteínas de origen vegetal que cuenta con todos los aminoácidos esenciales en cantidades altas y muy cercanas a las establecidas por la FAO para la nutrición humana. Por ello las proteínas provenientes de la quinua presentan un alto valor biológico. Quigü de Quinua es una bebida fermentada 100% vegetal obtenida a partir del extracto hidrosoluble de quinua bajo la acción de cultivos acidófilos (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus Bulgaricus*) y cultivos probióticos (*Bifidobacterium lactis* y *Lactobacillus acidophilus*). (Maldonado *et al.*, 2014).

Para la elaboración de bebidas fermentadas a base de quinua, fueron utilizados la goma *xanthan* a 0.3%, 0.4% y 0.5 % y la relación sacarosa: fructosa a 90:10, 70:30, 50:50, como variables dentro del procesamiento, y poder así, determinar las reacciones que tenían estas diferentes proporciones, dentro de la mezcla para la elaboración de la bebida. El análisis de los resultados, demostró que existió diferencia significativa en el comportamiento de la relación sacarosa: fructosa, al del porcentaje de goma *xanthan*. La acidez fue superior en las mezclas que contenían menos cantidad de fructosa, a pesar de que se esperaba lo contrario ya que éstos últimos al tener menor cantidad podían ser fermentados en menor cantidad por *L. Bulgaricus* (Jiménez *et al.*, 2003). Esto posiblemente se debe a que el *S. thermophilus* al tener la habilidad de descomponer la sacarosa en glucosa y fructosa por su actividad invertasa (Courtin y Rul, 2003) pudo contribuir a que *L. Bulgaricus* actúe sin necesidad de mayores cantidades de fructosa en la formulación. Más aún, la acidez del producto es el resultado del nivel de concentración del extracto líquido. En este caso al emplearse una relación de agua: quinua de 5:1 se reduce la concentración de sustratos disponibles, lo que ocasiona la dilución del ácido formado.

Respecto al otro factor, porcentaje de goma *xanthan*, el efecto significativo se explicó por la acción de *Bifidobacterium* encontrándose que estas bacterias podrían fermentar los polisacáridos naturales, entre ellos la goma *xanthan* (Bolado y Acedo, 2006). El mayor efecto en cuanto a la viscosidad se observó en cuanto al porcentaje de goma *xanthan*, ya que los niveles empleados, afectaron significativamente las características reológicas del producto. Así se ha constatado

en estudios anteriores, que existe una relación directamente proporcional entre el incremento de la cantidad de goma *xanthan* y la viscosidad (Torres, 2011).

El análisis de los resultados demostró que existió diferencia significativa sobre el porcentaje de goma *xanthan* y de la interacción de ambos factores. Sin embargo, no existió un efecto significativo en la relación de sacarosa: fructosa. Las mezclas con 0.4% y 0.5% de goma presentaron mayor estabilidad, a esos niveles el producto fue tan estable, que incluso centrifugándole por 6 horas adicionales al tiempo estándar del método (2 horas) no hubo cambios cuantificables en este parámetro, los resultados se explicarían debido a la interacción de la goma *xanthan* junto con el almidón (presente en el estabilizante) ya que su acción conjunta resulta más eficaz que al ser empleados individualmente (Torres, 2011).

### **7.10 Elaboración y aplicación gastronómica de la harina de algarrobo**

La algarroba, es una vaina azucarada, libre de gluten que sirve de alimento natural, con alto valor nutritivo para todas las personas, se pueden elaborar diversos productos conservando un gran sabor, con menos cantidad de químicos que afectan a la salud. La harina de algarroba contiene potasio, fósforo, magnesio, sílice y hierro, rica en azúcares naturales, bajo contenido de almidón y grasa (2 % grasa VS. 52% grasa de chocolate) (Ortega, 2013).

La harina de algarroba se obtiene a partir de la molienda de las vainas, utilizando tamices adecuados, de tal manera que el producto presenta un tamaño de partícula menor a 0,15 mm, este derivado de la algarroba se ha empezado a comercializar, para ser usado como ingrediente de galletas y otros productos de panificación y pastelería. Después de una serie de tratamientos como deshidratación, tostado del producto y molienda fina, se obtiene un producto de aspecto y sabor similar al polvo de cacao.

Las vainas maduras permiten obtener una harina muy dulce, con sabor muy parecido al cacao, pero con diferente composición nutricional ya que no tiene, como el chocolate o cacao, cafeína, teobromina, ácido oxálico, ni exceso de grasas o sodio y tampoco requiere aditivos para su consumo (Ortega, 2013).

La harina de algarroba posee un mayor contenido de proteínas que la harina de trigo, y al ser utilizada en pequeñas proporciones en la formulación se obtienen productos con mayor valor nutritivo que los productos de pastelería hechos exclusivamente a base de harina de trigo.

### **7.11 Efecto del proceso en la calidad y digestibilidad de la pasta sin gluten**

La harina de plátano inmaduro es una fuente de almidón resistente, se ha reportado que contiene entre el 17.5% y 42.82%; también es una fuente de compuestos bioactivos. Varios estudios han sugerido que el consumo de plátano verde ejerce un efecto benéfico sobre la salud humana, ya que se asocia con el almidón resistente y polisacáridos no amiláceos (García *et al.*, 2006).

Para encontrar la formulación óptima de las pastas por el método laminado, se analizó el efecto de la concentración de carboximetilcelulosa (CMC) y el porcentaje de humedad (variables independientes) sobre las pérdidas por cocción en las pastas (variable de respuesta). El método laminado, también conocido como tradicional o manual, es empleado para la elaboración de pastas, en el cual la harina se mezcla con diversos componentes como puede ser agua, huevo, entre otros, para después ser laminada o cortada con un rodillo cortador y darle forma de pasta. En las pruebas experimentales, fueron elaborados espaguetis con sémola de trigo por el método de laminado y extrudido, y espagueti con harina de plátano por método laminado y extrudido, para su posterior comparación (García *et al.*, 2006).

La formulación óptima según el análisis fue 80 ml de agua y 1.25g de CMC por cada 100g de harina de plátano verde, prediciendo el 11.58% de pérdidas por cocción. Una vez obtenidas las condiciones óptimas, para validar los datos, se elaboró la pasta a dichas condiciones y se encontró 11.66% de pérdidas por cocción de estas pastas.

Se observó que los espaguetis elaborados con sémola de trigo por método laminado y los espaguetis con sémola por extrusión, no presentaron diferencias significativas en ningún atributo; esto pudo deberse al gluten presente en estos espaguetis, formó una matriz proteínica que contribuyó a la calidad del espagueti, y el color característico reportó que la materia prima y el proceso, tuvieron un papel importante en la calidad final del producto. Por otro lado, la cantidad y la calidad de proteína presente en estos productos son factores importantes para su aceptación, por lo que un alto contenido de proteína (gluten) fue necesario para desarrollar una pasta con características de calidad deseables (Hernández, 2013).

En los atributos de aspecto general, sabor y textura, de los espaguetis con harina de plátano por laminado, no presentó diferencia significativa en comparación con los elaborados con sémola por los dos métodos, esto fue debido que en la

elasticidad y masticabilidad obtenida, no se observaron diferencias significativas para esta misma muestra, el sabor la textura de los espaguetis con harina de plátano por extrusión fue aceptable, estos presentan una menor adhesividad compara con la obtenida en los elaborados por el método laminado, aunque presentaron un color oscuro poco aceptable ante el consumidor (Hernández, 2013).

## **8. CONCLUSIONES**

- Las diferentes investigaciones en la actualidad, demuestran un avance sustancial en la caracterización de la enfermedad celíaca y además posibles nuevos tratamientos para combatirla como son medicamentos y alimentos que cumplan con los requisitos para el consumo de los celíacos donde el contenido de gluten sea igual o menor a 20 ppm.
- La enfermedad celíaca puede presentarse en diferente forma clínica, clásica, potencial, silente y latente. Cada una presenta su respectiva sintomatología diferenciándose entre sí, logrando confundirse fácilmente con otra enfermedad.
- La sintomatología de la celiaquía es muy similar a otras enfermedades, por esta razón en ocasiones suele confundirse dando lugar a un mal diagnóstico, y por ende la posibilidad de no lograr una mejora en la salud, por no seguir el tratamiento adecuado.
- Existen diferentes métodos que son utilizados para saber si un alimento tiene gluten o no, el método utilizado depende del alimento y del tipo de tratamiento térmico que se fue aplicado durante el proceso.
- La legislación establece normas sobre el etiquetado de productos, en la que se debe indicar el contenido de alérgenos presente en el producto, como el gluten, evitando una intoxicación por consumo del mismo de una forma clara y visible al consumidor.

- La ingeniería de alimentos ha contribuido de forma sustancial, en la elaboración de productos alimenticios que sean aptos para ser consumidos por las personas celiacas, con diferentes materias primas como lo son, salsas comestibles, harinas, pan, pastas comestibles, premezclas para pizzas, bebidas fermentadas.
- La enfermedad celiaca aunque es una enfermedad poco frecuente en Colombia, con la investigación queda claro que no ocurre lo mismo en otros países, por lo tanto viene siendo una buena alternativa para las personas profesionales en la ciencia de alimentos, para ejercerla en esta área elaborando nuevos productos libres de gluten, dirigido a personas con la enfermedad celiaca.
- Esta situación a su vez, se constituye en una alternativa para profesionales de la ciencia de alimentos, para elaborar nuevos productos libres de gluten, dirigido a personas con la enfermedad celiaca.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aimaretti, N., Llopart E., Codevilla A., Baudino C., Clementz A. 2011. Desarrollo de una pre-mezcla para pizza a base de harina de grano entero de sorgo y mijo. En revista *Invenio*. 14(26) (mayo):133-140.
2. Alvarado G., Cornejo F. 2009. Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos. (Tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador.
3. Arocas A., Sanz T., Fiszman S. 2009. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. *Journal of Food Science and Technology*; 23(3): 901- 907.
4. Arrizubieta M. 2007. Transglutaminases. Industrial Structure, Functions and Applications. Industrial Enzymes. *International Journal of Biotechnology and Food Science*; 25(2): 25-29
5. Badui, S. 2006. Química de los Alimentos. 4ª Edición. Mexico: Editorial Pearson Education.
6. Bhargava, A., Shulka, S., Ohri, D. 2006. Chenopodium quinoa. An Indian perspective. Industrial Crops and Products. *Journal of Food Engineering*; 23 (1): 73-87.
7. Calvo C. 2003. Mesa redonda: Enfermedad celíaca en el siglo XXI. Boletín de la sociedad de pediatría de Asturias. Cantabria, Castilla y León. 43: 185.
8. *Codex Alimentarius*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organización Mundial de la Salud. *CODEX STAN 118-1979*; enmendado 1983; revisado 2008.
9. Colombo, G., Buffa, R., Bardella, M., Garofalo, L., Carlin, A., Lipton, J. 2002. Anti-inflammatory effects of alpha-melanocyte-Stimulating Hormone in Celiac Intestinal Mucosa. Neuroimmunomodulation. *Journal of Food Engineering*, 25 (3), 197-206
10. Comino, I., Real, A., Moreno, M., Cebolla, A. Sousa, C. 2010. Detección de la fracción inmutóxica del gluten: aplicaciones en seguridad alimentaria. (Tesis pregrado). Universidad de Sevilla. España.



11. Courtin, P., & Rul, F. 2003. Interactions between microorganisms in a simple ecosystem: yogurt bacteria as a study model. *Journal of Food Science*; 84, 125-134.
12. Cueto, D., Pérez, E., Borneo, R., Ribotta, P. Efecto de la adición de harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En revista de Agronomía. 37(2): (nov. 2011); p. 64-74
13. Del Castillo, V., Lescano, G., Armada, M. (2009). Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quinua, cereales y almidones. Archivos latinoamericanos de nutrición. 59:332-336.
14. Dr. Schär Institute. (2012). Comportamiento de las proteínas del gluten presente en el trigo. Recuperado de: <http://www.drschaer-institute.com> (13/04/15).
15. Farahnaky, A., Askari, H., Majzoobi, M., Mesbahi, G. (2010). *The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. Journal of Food Engineering.* 100(2): 294-301.
16. Feroso, S.M. 2013. Influencia de la *hidroxipropilmetilcelulosa*, el *psillium* y su combinación en las propiedades morfo geométricas y texturales de panes sin gluten elaborados con harina de arroz. (Tesis pregrado), Universidad de Valladolid, España.
17. Gaben, S. Determinación rápida y fiable del contenido en gluten de una muestra. En: Revista Fundación Dialnet. Vol.; 1. No 68. (sept. 2010); 50-55.
18. Gallardo, I., Boffill, Y., Ozuna, Y., Gómez, O., Pérez, M., Saucedo, O. (2013). Producción de bebidas usando sorgo malteado como materia prima para enfermos celíacos. Avances en la ciencia e ingeniería; 4(1):61-73.
19. García M. La enfermedad celíaca hoy. En: Revista del Hospital Ramón Jiménez, Vol 2. No 11,1 (junio 2003); p. 37-42.
20. Gómez A. (2014). Formulación/diseño de nuevas salsas funcionales libres de gluten: estudio de sus características fisicoquímicas, microestructurales y sensoriales. (Tesis pregrado) Universidad Politécnica de Valencia, España.
21. Gonzales, J., García, E., Fernández, J., Lara, J. (2007). Técnicas analíticas para detección de gluten alimentos. España: Editorial ELEC Industria Gráfica.

22. Gonzales M. (2010). Rotulado de alimentos aptos para celíacos. 2ª edición. Argentina: editorial Agustín Ariño.
23. Grando, S., Gomez, H. (2005). *Importance, Uses and Local Knowledge. Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement. Journal of Food Science, 12(5), 869-876.*
24. Guevara, G. Enfermedad celíaca. En: Revista chilena de pediatría. Vol 1 (nov, 2002); pág. 73
25. Hausch, F., Shan, L., Santiago, N. *Intestinal digestive resistance of immunodominant gliadin peptides. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* En Revista *Physiol Gastrointest Liver Physiol.* (oct. 2002); pag. 283: G996–G1003
26. Hernández M. A. (2013). Efecto del proceso en la calidad y digestibilidad de pasta sin gluten. (Tesis de maestría) Instituto Politécnico Nacional, Yautepec de Zaragoza, México.
27. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2007). Norma técnica colombiana (NTC) 512-1. Rotulado o etiquetado parte 1: norma genera. Colombia
28. Jiménez, C., Hernández, H., & Dávila, G. (2003). *Production of a yogurt-like product from Lupinus campestris seeds. Journal of the Science of Food and Agriculture, 44, 515- 522.*
29. Juárez. E., Agama E., Sayago S., Rodríguez S., Bello L. *Composition, digestibility and application in bread making of banana flour.* En Revista *Plants food human nutrition.* (sep. 2006) 61:131-137
30. López, M., Bartolomé, M., Castro, B., Fernández, B., Heras G. (2003). La enfermedad celíaca en familiares de primer grado. *Journal of Food Science.* 120(4): 132-134.
31. Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A. Aplicación tecnológica de biopolímeros en la producción de alimentos libres de gluten. En: Revista Centro de investigación y desarrollo en criotecnología (CIDCA). (Sept, 2010); pág. 44-47
32. Maldonado, R., Carrillo, P., (2014). Desarrollo de una bebida fermentada a base de quinua (*Chenopodium quinoa*). (Tesis pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

33. Mariotti, M., Pagani, M., & Lucisano, M. (2013). *The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures*. *Food Hydrocolloids*. Journal of Food Engineering; 30(1): 393-400.
34. Marti, T., Molberg, O., Li, Q., Gray, G., Khosla, C., Sollid, L. 2004. *Prolyl endopeptidase-mediated destruction of T cell epitopes in whole gluten: chemical and immunological characterization*. 312(1): 19-26.
35. Merlos, D. Palacios, L. (2013). Estrategias de afrontamiento que desarrollan los pacientes diagnosticados con enfermedad celíaca en el servicio de gastroenterología. (Proyecto de investigación) Córdoba, Colombia.
36. Morán, K. Soledispa, K. (2013). Efecto de la goma Xanthan y la hidroxipropilmetilcelulosa en las características físicas y reológicas del pan de arroz libre de gluten tipo molde. (Tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
37. Mosquera, M., Pacheco, J. (2012). Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) y harina de arroz (*Oryza sativa*) para celíacos. (Tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil, Ecuador.
38. Ordaz, N. (2010). Desarrollo de un producto de panificación destinado a personas con enfermedad celíaca. (Tesis maestría) Instituto Politécnico Nacional, México.
39. Ortega, A., (2013). Elaboración y aplicación gastronómica de la harina de algarroba. (Tesis pregrado) Universidad de Guayaquil, Ecuador.
40. Pellicer, K., Huber, B., Benítez, F., Bignon, G., Barbero, R., Salum, L., Copes, J. (2014) Actualización en la legislación de alimentos para celíacos. Universidad nacional de la plata, Argentina.
41. Pérez A., García R. 2013. Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) acondicionada con mezcla de fibras comerciales. (Tesis pregrado) Universidad Nacional Abierta a Distancia (UNAD), Duitama, Colombia.
42. Polanco I. Ribes C. (2005). Enfermedad celíaca, un reto diagnóstico. Madrid (España): editorial Alpe Editores.

43. Prieto, Y. (2014). La enfermería y la enfermedad celíaca en el adulto. (Tesis pregrado) Universidad de Valladolid, España.
44. Rodrigo, L., Peña, A. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca. En: *OmniaScience*. (Feb, 2013); pág. 78-82.
45. Sáez, L. (2012). Enfermedad celiaca. Servicios digestivos Hospital universitario central de Asturias (HUCA), Oviedo, España.
46. Sánchez, H., González, R., Osella, C., Torres, R., De la Torre, M. (2009). Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extruidas. (Tesis pregrado) Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
47. Sarkar N. Walker L. (1995). *Hydration dehydration properties of methylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose. Carbohydrate Polymers. Journal of Food Engineering*; 27(3): 177-185.
48. Shan L., Molberg O., Parrot I., Hausch F., Filiz F., Gray GM., Sollid L., Khosla C. (2002). *Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue. Journal of Food Science*; 297:2275-2279.
49. Taylor, J., Schober, T., Bean, S. (2006). *Novel food and non-food uses for sorghum and millets. Journal of Cereal Science*, 42(5), 985-992.
50. Torres, M. (2011). La comparación de almidón nativo y modificado de maíz (*zea mays*) y goma *xanthan* en el comportamiento reológico de paté de champiñones (*agaricus bisporus*). (Tesis pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
51. Tronsmo, K. Magnus, E. Baardseth, P. Schofield, J. Aamodt, A. Mosleth, E. (2003). *Comparison of Small and Large Deformation Rheological Properties of Wheat Dough and Gluten. American Association of Cereal Chemists*; 80: 587-595
52. Uscanga, L. (2010). Enfermedad celiaca. Revista gastroenterológica de México. *Journal of Food Science*. 75: 31-34.
53. Vargas L., Morell J., González C., Melero J. 2004. Avances en la patogenia y en el diagnóstico inmunológico de la enfermedad celíaca. Revista Pediatría de Atención Primaria. 6: 443-462.

54. Vergara, P. (2011). Efecto de la adición de enzima transglutaminasa en el desarrollo de pan a base de harina de quinua. (Tesis pregrado) Universidad de Chile.
55. Zandonadi, R., Assuncao, R., Coelho, M. (2009). *Psyllium as a Substitute for Gluten in Bread. Journal of the American Dietetic Association. Journal of Food Engineering*; 109(10): 1781-1784.