



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN**

**FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE UNA TORTILLA  
FERMENTADA DE HARINA DE TRIGO  
NUTRACÉUTICA Y SUS POTENCIALES USOS EN  
OBESIDAD Y DESNUTRICIÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**NORMA GUERRERO OLVERA**

**ASESOR: DRA. RAQUEL GÓMEZ PLIEGO**

**CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO**

**2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

**Formulación y desarrollo de una tortilla fermentada de harina de trigo nutracéutica y sus potenciales usos en obesidad y desnutrición**

Que presenta la pasante: **Norma Guerrero Olvera**

Con número de cuenta: 411035903 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Junio de 2018.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

|                      | NOMBRE                              | FIRMA |
|----------------------|-------------------------------------|-------|
| <b>PRESIDENTE</b>    | Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz  |       |
| <b>VOCAL</b>         | Dra. Carolina Moreno Ramos          |       |
| <b>SECRETARIO</b>    | Dra. Raquel Gómez Pliego            |       |
| <b>1er. SUPLENTE</b> | I.A. Miriam Alvarez Velasco         |       |
| <b>2do. SUPLENTE</b> | M. en C. María Guadalupe Amaya León |       |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).



---

*El presente trabajo se realizó en el **Laboratorio de Microbiología Industrial L502-Anexo** de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, bajo la dirección de la Dra. Raquel Gómez Pliego, y se encuentra en trámite de **Solicitud de patente MX/a/2017/012376**.*

Fue difundido en diferentes medios impresos, electrónicos y televisivos como: Gaceta UNAM, Comunidad FESC, El Universal, Programa Creadores Universitarios, transmitido el 19 de agosto del 2018.

Fue presentado en el en el 51° Congreso Mexicano de Química y el 35° Congreso Nacional de Educación Química. Efectuado del 28 de Septiembre a 1 de Octubre de 2016.

También fue presentado en el XIX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología en Alimentos y IV Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias en Procesamiento de Alimentos realizado en Zacatecas del 17 al 19 de mayo del 2017.

---



Solicitud de Patente  
 Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad

Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique cuál:  
 Modelo Industrial  Dibujo Industrial

Uso exclusivo Delegaciones y Subdelegaciones de la Secretaría de Economía y Oficinas Regionales del IMPI

Sello

Folio de entrada

Fecha y hora de recepción

Solicitud Expediente: **MX/a/2017/012376**  
Fecha: **27/SEP/2017** Hora: **11:29:20**  
Folio: **MX/E/2017/071181** 431190

Antes de llenar la forma lea las consideraciones generales al reverso

**I DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S)**

El solicitante es el inventor  El solicitante es el causahabiente

1) Nombre (s): **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

2) Nacionalidad (es): **MEXICANA**

3) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: **9° PISO DE LA TORRE DE RECTORÍA S/N, CIUDAD UNIVERSITARIA, C.P. 04510**

Población, Estado y País: **COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.**

4) Teléfono (clave): **(55) 56 22 63 29 AL 31** 5) Fax (clave): **(55) 56 65 46 44**

**II DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR(ES)**

6) Nombre (s): **RAQUEL GÓMEZ PLIEGO, YOLANDA MARINA VARGAS RODRÍGUEZ, GUADALUPE IVETH VARGAS RODRÍGUEZ Y NORMA GUERRERO OLVERA.**

7) Nacionalidad (es): **MEXICANAS.**

8) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: **AV. PASEO DEL ALBA NO. 230 A-4, COLONIA JARDINES DEL ALBA, C.P. 54750**

Población, Estado y País: **CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.**

9) Teléfono (clave):  10) Fax (clave):

**III DATOS DEL (DE LOS) APODERADO (S)**

11) Nombre (s): **MARTHA FIGUEROA PÉREZ** 12) RGP-DDAJ-14782

13) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: **3er PISO DEL EDIFICIO "B" DE LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS EXTERIORES DE LA ZONA CULTURAL DE CIUDAD UNIVERSITARIA, C.P. 04510.**

Población, Estado y País: **COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.** 14) Teléfono (clave): **(55) 56 22 63 29 AL 31** 15) Fax (clave): **(55) 56 65 46 44**

16) Personas Autorizadas para oír y recibir notificaciones:  
**DANIEL OJESTO MARTÍNEZ PORCAYO, ROCIO JUÁREZ VÁZQUEZ Y ANACLARA ALVARADO DE LA CUESTA.**

17) Denominación o Título de la Invención:  
**TORTILLA NUTRACÉUTICA DE HARINA FERMENTADA, Y PROCESO PARA OBTENCIÓN DE LA MISMA**

18) Fecha de divulgación previa: **28 | septiembre | 2016**  
Día Mes Año

19) Clasificación Internacional **uso exclusivo del IMPI**

20) Divisinal de la solicitud

21) Fecha de presentación: Día Mes Año

22) Prioridad Reclamada: País Número Figura jurídica Fecha de presentación No. de serie

| País | Número | Figura jurídica | Fecha de presentación | No. de serie |
|------|--------|-----------------|-----------------------|--------------|
|      |        |                 | Día Mes Año           |              |
|      |        |                 |                       |              |
|      |        |                 |                       |              |

**Lista de verificación (uso interno)**

| No. Hojas                              |  | No. Hojas                             |  |
|--|--|---------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1  | Comprobante de pago de la tarifa                     | <input checked="" type="checkbox"/> 4 | Documento de cesión de derechos                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> 45 | Descripción y reivindicación (es) de la invención    |                                       | Constancia de depósito de material biológico         |
| <input checked="" type="checkbox"/> 9  | Dibujo (s) en su caso                                | <input checked="" type="checkbox"/> 7 | Documento (s) comprobatorio(s) de divulgación previa |
| <input checked="" type="checkbox"/> 1  | Resumen de la descripción de la invención            |                                       | Documento (s) de prioridad                           |
| <input checked="" type="checkbox"/> 1  | Documento que acredita la personalidad del apoderado |                                       | Traducción   |
|  |  | 68                                    | TOTAL DE HOJAS                                       |

**Observaciones:**  
Se anexa hoja de descuento.

Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos.

LIC MARTHA FIGUEROA PÉREZ CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 26 DE SEPTIEMBRE DE 2017  
Nombre y firma del solicitante o su apoderado Lugar y fecha





---

## AGRADECIMIENTOS

### **A Dios.**

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Por la paciencia para continuar y finalizar esta etapa.*

### **A la UNAM y Facultad de Estudios Superiores Cuatitlán.**

*Por haber pertenecido a la máxima casa de estudios por lo cual me siento muy orgullosa ya que me brindó la oportunidad de desarrollarme tanto académica como culturalmente, permitiéndome conocer y vivir todo lo que rodea a esta gran institución. A la FESC por los momentos buenos y difíciles, que me enseñó el valor de estar ahí.*

### **A mi madre Carito.**

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser la persona que ahora soy, pero más que nada, por su amor.*

### **A mi padre Salvador.**

*Por los ejemplos de perseverancia, constancia que lo caracterizan y que me enorgullece siempre, por el valor mostrado para salir adelante con gran esfuerzo y trabajo, y por su amor.*

### **A mi hermanita Yesi.**

*Por ser mi consejera, por su apoyo en todo momento, y porque juntas hacemos mejores las cosas.*

### **A mis familiares.**

*A mi novio Eduardo que siempre me escucha y está pendiente de mí bienestar, a mis tíos Leticia y Carlos Olvera por su apoyo y motivaron para continuar, a mis Abuelitos Amalia, Aby, Carlos (†), Sonia y Arnold, son grandes ejemplos para mí, sus cuidados y cariño que me han dado, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la culminación de mis estudios.*

**¡Gracias a ustedes!**

---



---

**A mis maestros.**

**A la Dra. Raquel Gómez Pliego** por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis, por su tiempo, conocimiento y momentos compartidos.

A mis sinodales Q.F.B. Martha Patricia, Dra. Carolina Moreno, I.A. Miriam Álvarez y M. en C. María Guadalupe Amaya por su apoyo en la revisión de éste trabajo.

A mis profesores de danza, Brenda Espinoza, Maribel Bonilla, Jorge Torres que me enseñaron un mundo diferente en el cual pude desarrollarme y crecer en muchos aspectos de mi vida los cuales me hacen muy feliz.

**A mis amigos.**

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, compañía y bonitos momentos: Erika, Marisol, Laura, Eli.

A mis grandes amigos, que con el tiempo se han hecho mis hermanos, y que he compartido muchas emociones, con todos aquellos que me permiten ser parte de sus vidas Diana, Daniel, Adrián, Jimena, Joscelyn, Aurora, Martha y Eli.

Finalmente mis maestros, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario y contribuyeron en mi formación personal y profesional.

**¡A todos Gracias!**

---



---

## ÍNDICE

|   | Página    |
|---|-----------|
| RESUMEN   | 1         |
| ABSTRACT  | 2         |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1 Generalidades del trigo   | 4         |
| 2.1.1. Composición química y valor nutrimental del trigo  | 4         |
| 2.1.2. Harina de trigo y su valor nutrimental   | 4         |
| 2.1.3. Producción de trigo y consumo de tortilla de harina en México  | 5         |
| 2.2. Obesidad, sobrepeso y desnutrición.  | 7         |
| 2.3. Definición de alimento, alimento funcional y alimento nutracéutico   | 9         |
| 2.4. Probióticos y prebióticos, definiciones e importancia en la adición de alimentos para el tratamiento de diversas enfermedades                                | 10        |
| 2.5. Importancia de la fortificación y enriquecimiento en alimentos con calcio, ácido fólico, proteína de leche, y el uso de ácidos grasos esenciales en la dieta | 13        |
| 2.6. Tortilla de harina de trigo nutracéutica doblemente fermentada   | 16        |
| <b>3. METODOLOGÍA</b>   | <b>17</b> |
| 3.1. Objetivos  | 17        |
| 3.1.1. General  | 17        |
| 3.1.2. Particulares   | 17        |
| 3.2. Hipótesis  | 17        |
| 3.3. Cuadro Metodológico  | 18        |
| <b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | <b>19</b> |
| 4.1. Preparación de la masa   | 19        |
| 4.2. Análisis Físicoquímico   | 23        |
| 4.2.1. pH   | 23        |
| 4.2.2. Determinación de Humedad   | 23        |
| 4.3. Análisis Químico Proximal  | 24        |
| 4.3.1. Determinación de Proteína  | 24        |
| 4.3.2. Determinación de grasa   | 27        |
| 4.3.3. Determinación de Fibra Dietética Total   | 28        |
| 4.3.4. Determinación de Cenizas Totales   | 29        |
| 4.3.5. Determinación de Calcio (Ca <sup>++</sup> )  | 29        |





---

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.6. Determinación de ácido Fólico  | 31        |
| 4.4. Pruebas de calidad de las tortillas                                    | 32        |
| 4.4.1. Porcentaje de pérdida de peso  | 32        |
| 4.5. Pruebas de Textura   | 32        |
| 4.5.1. Rolabilidad  | 32        |
| 4.5.2. Prueba de Tensión y distancia de ruptura                             | 33        |
| 4.6. Análisis Microbiológicos   | 35        |
| 4.6.1. Recuento de Bacterias Ácido Lácticas (BAL)                           | 35        |
| 4.6.2. Determinación de Coliformes Totales y Fecales, y mesófilos aerobios  | 36        |
| 4.6.3. Recuento de mesófilos aerobios                                       | 36        |
| 4.7. Evaluación Sensorial   | 37        |
| 4.8. Análisis Estadístico   | 37        |
| <b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | <b>38</b> |
| 5.1. Interacción de los ingredientes  | 38        |
| 5.2. Análisis Químico Proximal y tabla comparativa de contenido nutricional | 41        |
| 5.3. Determinación de propiedades fisicoquímicas y de textura               | 42        |
| 5.4. Análisis microbiológico  | 49        |
| 5.5. Recuento de Bacterias Ácido Lácticas                                   | 49        |
| 6.6. Calidad sensorial. Evaluación hedónica                                 | 51        |
| <b>6. CONCLUSIONES</b>  | <b>52</b> |
| <b>7. REFERENCIAS</b>   | <b>53</b> |



---

| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> |  | <b>Página</b> |
|-------------------------|--|---------------|
| Tabla 1.                | Ejemplo y efecto en el ser humano de Alimento, Alimento funcional y Alimento nutracéutico  | 10            |
| Tabla 2.                | Características de un Probiótico   | 11            |
| Tabla 3.                | Factores de conversión de proteína usados para convertir nitrógeno a proteína, entre diferentes ingredientes alimenticios              | 26            |
| Tabla 4.                | Perfil de textura (rolabilidad, tensión, distancia humedad y pH de la tortilla de harina de trigo Nutraceútica y doblemente fermentada | 41            |
| Tabla 5.                | Resultados del análisis sensorial  | 47            |
| Tabla 6.                | Comparación de Tortilla Nutracéutica y Tortilla Comercial  | 51            |



---

| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> |  | <b>Página</b> |
|--------------------------|--|---------------|
| Figura 1.                | Principales estados productores de trigo.                          | 6             |
| Figura 2.                | Prevalencia de obesidad y sobrepeso en México                      | 8             |
| Figura 3.                | Prevalencia de desnutrición en México                              | 8             |
| Figura 4.                | Cocción de tortillas   | 20            |
| Figura 5.                | Empaquetado de tortillas de harina de trigo                        | 20            |
| Figura 6.                | Termómetro infrarrojo  | 20            |
| Figura 7.                | Potenciometro  | 23            |
| Figura 8.                | Termobalanza   | 24            |
| Figura 9.                | Digestor micro Kjeldhal  | 25            |
| Figura 10.               | Equipo de destilación  | 25            |
| Figura 11.               | Esquema del equipo de extracción                                   | 27            |
| Figura 12.               | Espectrofotómetro de Absorción Atómica                             | 30            |
| Figura 13.               | Esquema del funcionamiento de un HPLC                              | 31            |
| Figura 14.               | Dispositivo de Texturometro  | 32            |
| Figura 15.               | Plataforma rotativa  | 32            |
| Figura 16.               | Texturometro Brookfield CT3, rolabilidad                           | 32            |
| Figura 17.               | Mordazas tipo Volodkevitch   | 34            |
| Figura 18.               | Representación esquemática determinación de tensión                | 34            |
| Figura 19.               | Texturometro Brookfield CT3, prueba de tensión                     | 34            |
| Figura 20.               | Fundamento del método clásico de recuento tras cultivo en agar     | 35            |
| Diagrama 1.              | Proceso de elaboración de tortilla nutracéutica de harina de trigo | 21            |
| Diagrama 2.              | Desarrollo de análisis de tortillas nutracéuticas                  | 22            |



---

## Gráficas

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Gráfica 1. | Valores promedio de la Humedad en función del tiempo de almacenamiento                | 42 |
| Gráfica 2. | Valores promedio del efecto de la Rolabilidad en función del tiempo de almacenamiento | 44 |
| Gráfica 3. | Valores promedio del efecto de la Tensión en función del tiempo de almacenamiento     | 45 |
| Gráfica 4. | Valores promedio de la Distancia de Ruptura en función del tiempo de almacenamiento   | 46 |
| Gráfica 5. | Valores promedio del pH en función del tiempo de almacenamiento                       | 48 |
| Gráfica 6. | Sobrevivencia de Bacterias Ácido Lácticas en función del tiempo de almacenamiento     | 50 |



---

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| AEP                            | Asociación Española de Pediatría   |
| BAL                            | Bacterias Ácido lácticas   |
| BPL                            | Buenas Prácticas de Laboratorio  |
| CANIMOLT                       | Asociación de Molineros de México  |
| CONEVAL                        | Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social           |
| DHA                            | <b>Ácido docosahexaenoico</b>  |
| ENIGH                          | Encuesta Nacional de Ingreso Gasto en los Hogares                            |
| ENSANUT                        | Encuesta Nacional de Salud   |
| EPA                            | <b>Ácido eicosapentaenoico</b>   |
| FAO                            | Por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization                  |
| GOS                            | Galactooligosacáridos  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Ácido sulfúrico  |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> | Ácido bórico   |
| HCl                            | Ácido clorhídrico  |
| HDL                            | Por sus siglas en inglés: High density lipoprotein                           |
| HPLC                           | High-performance Liquid Chromatography                                       |
| IMC                            | Índice de Masa Corporal  |
| LDL                            | Por sus siglas en inglés: Low density lipoproteins                           |
| NaOH                           | Hidróxido de sodio   |
| NH <sub>3</sub>                | Amoníaco   |
| NIH                            | Acrónimo en Inglés, National Institutes of Health                            |
| NOM                            | Norma Oficial Mexicana   |
| OCDE                           | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico                   |
| OMS                            | Organización Mundial de la Salud   |
| RDA                            | Por sus siglas en inglés: Recommended Daily Allowances                       |
| rpm                            | Revoluciones por minuto  |
| SAGARPA                        | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación |
| SENC                           | Sociedad Española de Nutrición Comunitaria                                   |
| SSA                            | Secretaría de Salubridad y Asistencia  |
| TGI                            | Tracto gastrointestinal  |
| TMAC                           | Tasa Media de Crecimiento Anual  |
| UFC/mL                         | Unidades Formadoras de colonias/ mL  |
| USDA                           | Por sus siglas en inglés: Department of Agriculture                          |



---

## RESUMEN

Actualmente en México se presentan dos grandes problemas de salud pública resultado de una mala alimentación, cuando esta es excesiva deriva en obesidad y sobrepeso y si es deficiente se presenta la desnutrición. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) reportó que México ocupa el primer lugar a nivel mundial en obesidad infantil; mientras que en el 2012, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT), declaró que en México la desnutrición y la mala nutrición existen.

En la búsqueda de estrategias que mitiguen el impacto causado por obesidad y desnutrición con el propósito de ofrecer una mejor calidad de vida para la población mexicana que presenta un alto grado de desnutrición y obesidad, y considerando consumo de tortilla en México; en el presente trabajo se formuló y elaboró una tortilla de harina de trigo nutracéutica fermentada y fortificada con probióticos, prebióticos, proteína, calcio y ácido fólico. Los resultados mostraron que a diferencia de una tortilla comercial, ésta se caracteriza por su alto contenido de proteína, fibra y bajo contenido en grasas, por su excelente textura, sabor, aroma y que por el ácido láctico, otros ácidos orgánicos y las bacteriocinas producidos durante la fermentación, actúan como un conservador natural y que además no se requiere del uso de estabilizadores (gomas) para mantenerlas suaves, pudiendo ser una alternativa para comunidades alejadas, donde existe la inapropiada disponibilidad de alimentos y servicios de salud.





---

## **ABSTRACT**

In Mexico there are two major public health problems resulting from poor nutrition. When it is excessive leads to obesity and overweight if nutrition is deficient. The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) reported that Mexico ranks first worldwide in childhood obesity; while in 2012, the National Health and Nutrition Survey (ENSANUT) stated that malnutrition exist in Mexico.

In the search for strategies that mitigate the impact caused by these two pathologies and with the purpose of offering a better quality of life for the Mexican population that presents a high degree of malnutrition and obesity, and considering the high consumption of tortillas in Mexico, both corn as wheat; In the present work, a nutraceutical wheat flour tortilla fermented and fortified with probiotics, prebiotics, protein, calcium and folic acid was formulated and elaborated. The results showed that unlike a commercial tortilla, it is characterized by its high content of protein, fiber and low fat content, for its excellent texture, flavor, aroma and that by lactic acid, other organic acids and bacteriocins produced during the fermentation. They act as a natural preservative and also do not require the use of stabilizers (gums) to keep them soft, being an alternative for remote communities, where the inadequate availability of food and health services exist.



---

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a los nuevos estilos de vida de la población, el consumo de alimentos de rápida y fácil preparación ha aumentado de manera considerable en los últimos años, prevaleciendo un incremento en la ingesta de alimentos hipercalóricos que son ricos en grasa, sal y azúcares, pero pobres en proteína, fibra, vitaminas, minerales y otros micronutrientes.

En consecuencia, se buscan alimentos que no sólo estén destinados para proporcionar los nutrimentos necesarios, sino también alimentos que mejoren el bienestar físico, mental, y social de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), y que puedan prevenir enfermedades relacionadas con la nutrición u otro tipo de patologías, además de aplicar estrategias de educación nutricional, destinadas a promover formas de vida saludables.

Es por eso que, los alimentos nutraceuticos son recomendados para mantener una buena salud los cuales han demostrado científicamente que presentan un efecto benéfico en una o varias funciones del organismo; de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar en quién los ingiere, asimismo, juegan un papel fundamental y único en el desarrollo de nuevos productos alimentarios (Chávez et al., 2016), ya que además de nutrir, aportan sustancias que mejoran la salud o previenen el riesgo de algunas enfermedades en los consumidores tales como obesidad y desnutrición.

Por otro lado, las tortillas y otros panes especiales se están convirtiendo en un elemento básico en la dieta mundial, de acuerdo con el informe de Asociación de la Industria de la tortilla emitido en el 2013, la tortilla de harina de trigo fue el único segmento de panadería que experimentó un crecimiento en 2012 y se prevé que aumente aún más (Jondiko et al., 2016). En México, existe una importante disponibilidad de trigo (SAGARPA, 2016), la parte que se destina para tortilla de harina es debido a que cuenta con una excelente versatilidad para su uso en muchos platillos, ya que este alimento delgado y plano (Liu et al., 2017) es vista como un sustituto del pan.

En suma de todo esto, el presente trabajo tiene como objetivo, formular y desarrollar una tortilla de harina de trigo fermentada con probióticos: bacterias lácticas (*Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus casei shirota*, *Lactobacillus bulgaricus*) y por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, fortificada con fructanos tipo inulina (no digerible), con proteína de leche, calcio, ácido fólico, ácidos grasos monoinsaturados (aceite de oliva), libre de conservadores, con un alto valor nutrimental y sobre todo que mantenga sus propiedades probióticas y prebióticas después de la cocción, cabe resaltar que un producto con éstas características no existe en el mercado. Dando oportunidad a los consumidores de mejorar la calidad de vida, consumiendo alimentos con un alto contenido de nutrientes.



---

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades del trigo

El trigo es uno de los cereales más cultivados del mundo y representa una de las principales fuentes de alimento para el consumo humano y animal. Tanto en volumen como en valor, el trigo es tradicionalmente el rubro más importante del comercio externo de productos agrícolas (Álvarez, 2001). El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios. La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa 'quebrado', 'triturado' o 'trillado', haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum* significa, por lo tanto, "(el grano) que es necesario trillar (para poder ser consumido)" (SAGARPA, 2005).

#### 2.1.1. Composición química y valor nutrimental del trigo

La composición del grano de trigo puede variar de acuerdo a la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la cantidad y calidad de nutrientes dependen de las especies de los trigos que influirán en sus propiedades nutritivas y funcionales. En general, está compuesto por hidratos de carbono que constituyen del 77 al 87% de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales aproximadamente el 64% es almidón, y el resto, carbohidratos solubles e insolubles que constituyen la fibra dietética. Las proteínas que acompañan al almidón, en bajo porcentaje (8 al 16%) y ausencia de los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y tronina, se considera al trigo de calidad proteíca baja (Juárez et al., 2014).

#### 2.1.2. Harina de trigo y su valor nutrimental

La harina, es el producto finamente triturado, obtenido de la molturación del grano de trigo. Las distintas variedades de trigo, tras su molturación, originan diferentes harinas. La harina blanca se obtiene a través de los procesos de molturación y molienda: tras la limpieza y el acondicionamiento del grano se realiza el descascarillado, para separar la cubierta externa (salvado), el germen y la capa de aleurona del núcleo central del grano (endospermo amiláceo). El resto, se muele reduciendo sus dimensiones y según el tamaño de las partículas se



---

separan las diferentes harinas, las cuales (sémola, semolina, harina gruesa y harina fina) se emplean para usos distintos según sus características, como producción de pasta, panificación, elaboración de churros o bollería, etc. La harina integral se obtiene de la molienda de los granos de trigo enteros, siendo por tanto, una masa más oscura y pesada que la masa común de harina blanca, al contener mayor cantidad de cáscara (compuesta principalmente por fibra).

La harina de trigo blanca por cada 100 gramos contiene 72.0 gramos de carbohidratos, 10.7 gramos de fibra, 13.21 gramos de proteína, 2 miligramos de sodio, y 10.74 gramos de agua. Además contiene algunas importantes vitaminas como Vitamina A (9 mg), Vitamina B (5.0 mg), (De la Vega, 2009).

### 2.1.3. Producción de trigo y consumo de tortilla de harina en México

El trigo es el cereal más utilizado en la alimentación humana, debido al alto valor energético. Este cereal se cosecha en prácticamente todo el mundo, aunque en el hemisferio norte hay mejores condiciones para su cultivo (SAGARPA). En 2014, México ocupó el decimonoveno lugar como país consumidor de trigo en el mundo, además, en 2015 creció 3 por ciento con respecto al año previo.

Los tres principales cereales que se consumen en el país son maíz, trigo y arroz. A pesar de que el maíz es primordial entre estos, el trigo es parte importante en regiones norte del país. Un factor importante es, a pesar de que los consumidores mexicanos históricamente han preferido tortillas de maíz más que pan, la diferencia se ha acortado poco a poco en los últimos años. Según la Asociación de Molineros de México (CANIMOLT), se espera que el consumo de trigo en México crezca en las próximas dos décadas, impulsado principalmente por el crecimiento demográfico y un aumento del consumo per cápita.

Un comparativo de datos de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto en los Hogares (ENIGH), en los años 2002, 2005, 2006, 2008 y 2010, muestra que el consumo diario de tortilla de maíz, por persona se ha reducido en los últimos años. Mientras que en 2002 el consumo diario de tortillas era en promedio de 249 gramos por habitante, para 2010 dicho indicador se redujo a 157 gramos.

Así mismo, por la introducción en el mercado de nuevos productos de comida rápida y cambios de hábitos alimentarios, así como al aumento en el precio del maíz y su traslado a los insumos y a la tortilla, que afecta directamente al consumo y al consumidor final.

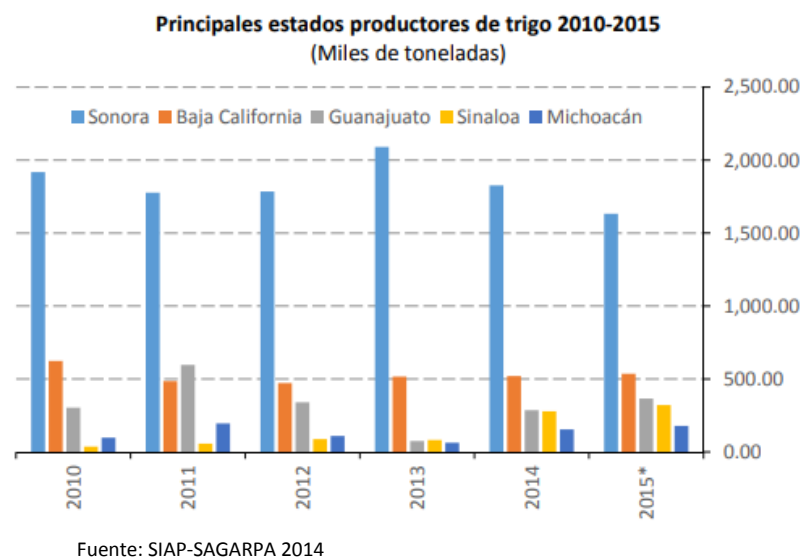
Resultados recientes del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (**CONEVAL**), muestran el consumo de tortilla en zonas rurales y urbanas. En el primer caso, el CONEVAL calcula que para 2010 el consumo diario por persona de tortilla en las zonas rurales es de 217.9 gramos; en contraste, en las zonas urbanas dicho indicador es de 155.4 gramos. Con estos



datos, se estima que el consumo de tortilla en el país en 2010 ascendió a 6.9 millones de toneladas de tortilla con un valor de 72,481 millones de pesos.

En México el trigo se cultiva en veintitrés estados de la república y tiene una mayor concentración en la zona norte y noroeste del país. Los principales cinco estados productores de trigo son: Sonora, Baja California, Guanajuato, Sinaloa y Michoacán, los cuales acumulan 89 por ciento de la producción total (**Figura 1**).

De acuerdo a (CANIMOLT), la producción de harina se distribuye de la siguiente manera: 68 % para los panes, pasteles y galletas (artesanal y panaderías industriales); 9 % para elaborar las galletas; 11% para la sopa de pasta, un 7 % para las tortillas de trigo y 5% para otros productos como pizzas, bocadillos, etc.



**Figura 1.** Principales estados productores de trigo 2010-2015.

Asimismo, se reportó una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) en cultivo de 3.5 % y entre 2015 y 2016, la producción registró un aumento de 3.5 %, que equivalen a más de 112 mil toneladas.

Por lo que el trigo se considera una fuente importante de la alimentación actual en México.



---

## 2.2. Obesidad, sobrepeso y desnutrición

La Organización Mundial de la Salud (**OMS**), define el sobrepeso como un exceso de peso corporal comparado con la talla, mientras que la obesidad como un exceso de grasa corporal (Sánchez et al., 2004). De acuerdo a la **NOM-043-SSA2-2012** define la obesidad como la enfermedad caracterizada por el exceso de tejido adiposo en el organismo, la cual se determina cuando en las personas adultas existe un IMC igual o mayor a 30 kg/m<sup>2</sup> y en las personas adultas de estatura baja igual o mayor a 25 kg/m<sup>2</sup>. En menores de 19 años la obesidad se determina cuando el IMC se encuentra desde la percentila 95 en adelante, de las tablas de IMC para edad y sexo de la Organización Mundial de la Salud.

Por otro lado, la desnutrición aguda definida como un peso inferior para la talla o baja talla para la edad (Rivera et al., 2013) o como una serie de afecciones que ocurren cuando el organismo no recibe o absorbe los nutrimentos adecuados y en cantidades suficientes.

En México y otros países en desarrollo coexisten la desnutrición y la obesidad; siendo México el primer lugar a nivel mundial en obesidad afectando a la mayoría de su población, lo que representa una doble desventaja, y una emergencia sanitaria.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (**ENSANUT**) 2016, el 72.5 % de adultos mayores de 20 años de edad, 36.3 5 de adolescentes de 12 a 19 años, y la tercera parte de niños de 5 a 11 años en México presentan sobrepeso y obesidad, factor determinante para desarrollar diabetes.

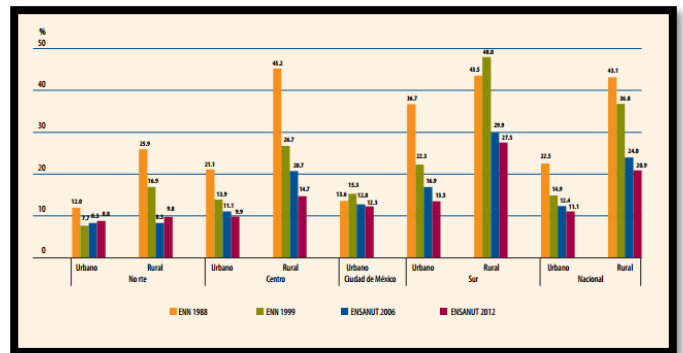
En los últimos cuatro años, el índice de obesidad subió casi dos por ciento entre el grupo de los 12 a 19 años de edad, pues pasó de los 34.9 puntos porcentuales en 2012 a 36.3 % en 2016, mientras que en los adultos de más de 20 años creció de 71.2 a 72.5 %. En tanto, entre la población infantil hubo alza de 4.8 %, los porcentajes se resumen en la **Figura 2**.

Aunado a estos problemas de obesidad y sobrepeso, la prevalencia de desnutrición crónica, la cuál se encuentra entre las cuatro grandes regiones (norte, centro, sur y Ciudad de México) y zonas urbanas y rurales son sumamente heterogéneas (**Figura 3**); la ENSANUT 2012, estima que en todo el país 2.8% de los menores de cinco años presentan bajo peso, 13.6% muestran baja talla y 1.6% desnutrición aguda.





**Figura 2.** Prevalencia de sobrepeso y obesidad en población adulta, adolescentes y niños (ENSANUT 2016).



**Figura 3.** Prevalencia de desnutrición crónica en menores de cinco años por región y zonas rurales, México 1988, 1999, 2006 y 2012, (ENSANUT 2012).

La alimentación es, en gran medida, el resultado del medio ambiente y de un entorno social específico (la inapropiada disponibilidad de alimentos, servicios de salud, educación, e infraestructura sanitaria deficientes; consecuencia de inequidad en la distribución de recursos, servicios, riquezas y oportunidades). Si bien la alimentación tiene una raíz biológica, representa una «interacción de influencias ambientales, cognitivas, fisiológicas y socioculturales» (Fausto et al., 2006).

En un individuo, la conducta alimentaria es un conjunto de acciones que establecen su relación con los alimentos. Los comportamientos frente a la alimentación se adquieren a través de la experiencia directa con la comida, por imitación, disponibilidad de alimentos, ingreso económico, simbolismos afectivos y tradiciones culturales (Sánchez et al., 2014).



---

### 2.3. Definición de alimento, alimento funcional y alimento nutracéutico

En los últimos años, ha aumentado considerablemente el interés de los responsables de la salud pública y de los consumidores por conocer la relación entre la dieta y la salud, con el propósito de acercarse a la comprensión de ciertas enfermedades y establecer las bases para el diseño de estrategias para reducirlo. Es importante diferenciar cada uno de los siguientes conceptos, alimento, alimento funcional y alimento nutracéutico, el primero y de acuerdo a la NOM-043-SSA2-2012, cualquier sustancia o producto, sólido o semisólido, natural o transformado, que proporcione al organismo elementos para su nutrición.

De acuerdo a la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (**SENC**), un alimento funcional es aquel que, con independencia de aportar nutrimentos, han demostrado científicamente que afectan benéficamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar, puede ser natural o procesado.

Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades. Entre los alimentos funcionales más importantes se encuentran los alimentos enriquecidos.

Los alimentos funcionales no dejan de ser alimentos y deben demostrar sus efectos en las cantidades que se consideren normales para su consumo en la dieta. Aunque en algunos casos, si se consumen regularmente pueden aportar la protección deseada.

Mientras que, la palabra nutracéuticos combina dos palabras: nutrimento y farmacéuticos y son alimentos orientados a la prevención y el tratamiento de enfermedades y se define como sustancia química o biológica activa que puede encontrarse como componente natural de los alimentos o adicionarse a los mismos y que resultan especialmente beneficiosas, además son productos que tiene la capacidad de fortalecer las condiciones saludables, sirviendo como auxiliar en el cuidado y mantenimiento de la salud, así como en la prevención de enfermedades y en la mejora de las funciones fisiológicas del organismo (Pérez, 2016).

Por tanto, se diferencian de los medicamentos, ya que estos suelen ser productos de síntesis y no tienen en su mayoría un origen biológico natural. Son por otra parte nutracéuticos los componentes de los alimentos o partes del mismo que aportan beneficios médicos, para la salud, inclusive para la prevención y el tratamiento de enfermedades.

Es decir en un alimento funcional hay un valor nutracéutico que se refiere a aquellos componentes conocidos o no a los que se les atribuyen funciones de mantenimiento y potenciación de la salud.



Además un agente bioactivo, nutraceutico, se puede administrar como tal en forma concentrada o ser adicionado a un alimento natural para incrementar en las propiedades funcionales. Es decir, un nutraceutico es la parte biológica del alimento funcional (Ferreira & Luengo, 2007). Las definiciones pueden resumirse en los ejemplos de la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Ejemplo y efecto en el ser humano de Alimento, Alimento funcional y Alimento nutraceutico (Ferreira & Luengo, 2007).

| Ejemplo | Alimento  | Alimento funcional  | Alimento nutraceutico  |
|---------|---|---|--|
|         | Nueces  | Leche enriquecida con ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA).  | Azúcar adicionada con fructo-oligosacaridos.                 |
| Efecto  | Fuente de enriquecimiento de proteínas, vitaminas, fibra y carbohidratos complejos. Estos alimentos también proporcionan minerales como el selenio, magnesio, cobre y zinc. | Contribuyen a reducir el riesgo de enfermedad cardiovascular, de ciertos tipos de cáncer y mejoran el desarrollo del tejido nervioso y las funciones visuales. Pueden reducir los procesos inflamatorios. | Para fomentar el desarrollo de la flora benéfica intestinal. |

Otro ejemplo para diferenciar un alimento funcional y un nutraceutico es que el primero puede disminuir el colesterol. Esto es claramente un efecto benéfico, pero pequeño y a largo plazo (por ejemplo, un fruto seco), y un nutraceutico es la parte biológica del alimento funcional que reduce el colesterol (por ejemplo, el fitosterol). Este ejemplo y entre otros alimentos serán coadyuvantes y sirven para tener una alimentación equilibrada si se acompañan de hábitos alimentarios saludables.

#### 2.4. Probióticos y prebióticos, definiciones e importancia en la adición de alimentos para el tratamiento de diversas enfermedades.

Los alimentos se dividen en diferentes grupos de acuerdo a los componentes presentes en ellos:

- » Nutrimientos: de acuerdo a la NOM-043-SSA2-2012 cualquier sustancia incluyendo a las proteínas, aminoácidos, grasas o lípidos, carbohidratos o hidratos de carbono, agua, vitaminas y nutrientes inorgánicos (minerales) consumida normalmente como componente de un alimento o bebida no alcohólica que proporciona energía; o es necesaria para el



crecimiento, el desarrollo y el mantenimiento de la vida; o cuya carencia haga que produzcan cambios químicos o fisiológicos característicos.

- » Probióticos: son microorganismos que proporcionan beneficios para la salud de los seres humanos. FAO/OMS (2001) define a los probióticos como "microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren beneficios para el huésped". Numerosos estudios han informado de que los probióticos pueden prevenir o aliviar los síntomas de la enfermedad inflamatoria intestinal, síndrome del intestino irritable, estreñimiento, diarrea asociada a antibióticos, hipertensión y diabetes (Weichselbaum, 2009). Los productos alimenticios que contienen probióticos, también llamados alimentos funcionales, tienen varios beneficios terapéuticos que incluyen antihipertensivos, anticancerígenos hipoglucemiantes, antioxidantes, y mejoran el sistema inmunológico. Por lo tanto, ha habido una gran cantidad de intereses médicos e industriales en el aislamiento de nuevas cepas de probióticos con beneficios que promueven la salud (Abushelaibi et al., 2017). Las bacterias ácido lácticas (BAL), Gram-positivas, son los probióticos más investigados desde hace décadas. La singularidad de BAL es que además de conferir diversos beneficios para la salud, estas son utilizadas en la fermentación de alimentos. Los probióticos mayormente utilizados pertenecen a los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, otros utilizados en menor grado que pertenecen a los géneros *Saccharomyces*, *Streptococcus* y *Enterococcus* (Guarner et al., 2017). Las características que debe tener un probiótico se muestran en la **Tabla 2**

**Tabla 2.** Características esenciales que tienen que permanecer inalteradas para ser considerados los microorganismos como probióticos (Hill et al., 2014).

| <b>Características de los probióticos</b>       | <b>Implicaciones</b>   |
|---|--|
| 1. Estar vivos                                  | Resistentes a la destrucción cambios a la Temperatura y pH.  |
| 2. Llega vivos al tracto gastrointestinal (TGI) | Resistentes a la destrucción por secreciones gástricas y/o biliares. Capacidad de adhesión al epitelio intestinal y para colonizar el TGI. |
| 4. Estabilidad                                  | Permanecer vivos durante la vida útil del producto.  |
| 5. Cantidad adecuada                            | Contener un número adecuado de bacterias viables que produzcan al efecto beneficioso demostrado ( $1 \times 10^8$ UFC/mL).                 |
| 6. Nomenclatura específica                      | Género y especie de la cepa específica.  |
| 7. Efecto benéfico                              | Cada cepa presenta un efecto benéfico para la cual ha mostrado evidencia científica.   |



- 
- » Prebióticos: ingrediente alimentario no digerible, que permite cambios específicos, tanto en la composición y / o actividad en la microflora gastrointestinal que confiere beneficios en el bienestar y la salud, como la estimulación del crecimiento y/o actividad de una o un grupo de bacterias en el colon. Los hidratos de carbono no digeribles incluyen grandes polisacáridos (inulina, almidones resistentes, celulosa, hemicelulosa, pectinas, y gomas), algunos oligosacáridos que escapan a la digestión, azúcares no absorbidos y alcoholes. La mayoría de los prebióticos, inhiben el crecimiento de bacterias patógenas (Youn & Soo, 2016). Los prebióticos se pueden dividir en dos grupos los llamados fructanos tipo inulina y los galactooligosacáridos (**GOS**). Los cuáles han demostrado la capacidad para estimular el crecimiento selectivo de *Bifidobacterias* y *Lactobacillus*, produciendo un cambio en la composición de la microbiota gastrointestinal.

El concepto de prebiótico debe presentar tres criterios (Fernández, 2013):

1. Que sea resistente a la acidez gástrica e hidrólisis por las enzimas del hospedador y resistente a la absorción gastrointestinal.
2. Que funcione como sustrato para la fermentación por los microorganismos presentes en el intestino humano.
3. Que estimulen el crecimiento y/o actividad de las bacterias intestinales asociadas con una mejora en el estado de salud y bienestar del huésped.

El concepto de la nutrición se enriquece con un enfoque en el que el poder no es sólo un elemento de supervivencia (satisfacción de alimentos y prevención de los efectos adversos debido a déficit o el exceso de comida): su objetivo es mejorar la salud, el bienestar y reducir el riesgo de desarrollar varias enfermedades. Estos nuevos horizontes abiertos de datos potencialmente interesantes en el contexto actual, marcado por el aumento de los costos de salud y el siempre presente deseo de los consumidores para mejorar su calidad de vida (Hyardin et al., 2007).

Con lo anterior, se ha propuesto el uso de probióticos y prebióticos (simbióticos) en la dieta, en la aplicación de productos nutracéuticos, que además contengan un valor agregado adicional, que permita a los consumidores tenerlos al alcance y posiblemente a bajo costo, alimentos que además de nutrirlos los ayude al mantenimiento de la salud y/o en la prevención de patologías, lo que es importante para reducir algunas enfermedades como la obesidad y la desnutrición, padecimientos presentes nuestro país.



---

## 2.5. Importancia de la fortificación y enriquecimiento en alimentos con calcio, ácido fólico, proteína de leche, y el uso de ácidos grasos esenciales en la dieta

Con el principio de modificar los alimentos para la mejora de las propiedades nutricionales, estos son fortificados y enriquecidos, para suministrar en el organismo los nutrientes necesarios, también se hace con la finalidad de compensar las pérdidas debidas a la fabricación o al paso del tiempo. Generalmente se llama alimento enriquecido, o fortificado, a aquel que las cantidades de uno o varios de sus nutrientes característicos han sido incrementados industrialmente, con el propósito de lograr un mayor aporte del mismo en la dieta, asegurando así una mayor probabilidad de que la población alcance a ingerir las cantidades necesarias y recomendadas de dicho nutriente (De Arpe, 2003). Sin embargo, una dieta diversa y en las cantidades adecuadas es capaz por si sola de suministrar los nutrientes para el ser humano. En todo caso se puede hablar de la utilidad en situaciones concretas por razones de necesidades incrementadas (embarazo, osteoporosis, lactancia, etc.), o por tratarse de personas con un hábito alimentario incorrecto. Así que para que el consumidor pueda hacerse de una idea idónea, debe mostrarse las raciones en porcentaje para cubrir con las necesidades diarias de este nutriente.

Los aspectos fundamentales para determinar qué alimentos se pueden enriquecer, con qué sustancias y fuentes enriquecedoras, cuáles han de ser los niveles máximos de enriquecimiento y cuál debe ser la dosis máxima diaria permitida, son las siguientes (García, 2006):

- 1) Porcentaje de alimentos que están enriquecidos en una determinada sustancia respecto al total de alimento.
- 2) Contribución de estos alimentos enriquecidos en una determinada sustancia a la ingesta global de la misma en la dieta. Por ello, es necesario que los aportes de los alimentos enriquecidos sean adecuadamente recogidos y valorados en las encuestas alimentarias que miden la ingesta de la población.

Uno de los minerales esenciales más utilizados para el enriquecimiento, es el calcio que es esencial en la formación y el mantenimiento. Además de su papel en el desarrollo y el mantenimiento de la masa ósea, el calcio parece tener otras funciones beneficiosas para la salud. Algunos estudios han relacionado la ingesta de calcio y el consumo de productos lácteos con un mejor control de la presión arterial. También se ha relacionado con un riesgo disminuido de presentar pólipos adenomatosos en el colon y de recurrencia en pacientes diagnosticados previamente de adenoma. De particular interés resulta el hallazgo de que una ingesta más elevada de calcio ayuda en el control del peso (Martínez et al., 2012). Las recomendaciones internacionales del Comité de Nutrición de la Asociación Española de Pediatría (**AEP**) y el Instituto Nacional de salud de los Estados





---

Unidos National Institutes of Health (**NIH**), sobre la ingesta de calcio en las diferentes etapas de la infancia y el Comité de Nutrición de la AEP, asumen esas recomendaciones lo que establecen para las personas entre los 15 y los 65 años unas necesidades de 800 mg diarios de calcio. Esta recomendación diaria se eleva a 1,200 mg en el caso de mujeres embarazadas o que alimentan a sus bebés, niños en períodos de crecimiento, mujeres menopáusicas y personas mayores.

- » En el caso del ácido fólico, es una vitamina que pertenece al grupo B ( $B_9$ ), los humanos no pueden sintetizar el ácido fólico y son totalmente dependientes de las fuentes alimentarias. El papel fundamental del ácido fólico de acuerdo a la Secretaria de Salud, es el de actuar como una coenzima necesaria para formar varios compuestos clave como son:
- » Formación de nucleoproteínas, necesarias en la división celular y en la transmisión de rasgos hereditarios.
- » Participación en la síntesis de tiamina, vitamina necesaria en la formación de la nucleoproteína del DNA. El ácido fólico desempeña el papel de transporte básico del grupo C, para la formación del grupo hemo, proteína de la hemoglobina.
- » El ácido fólico es de fácil absorción en el sistema gastrointestinal y llevado por la sangre a los tejidos, se almacena principalmente en el hígado y es excretado por la orina y heces fecales.

La Cantidad Diaria Recomendada (Recommended Daily Allowances **RDA**), por la Unión Europea es de 200-400 microgramos (0.2 mg), es la ingesta que cubriría las necesidades de casi todos los individuos (97,5%). Algunas recomendaciones llegan a subir la cifra para la mujer embarazada hasta los 800 microgramos.

Por otro lado, las grasas o lípidos son los componentes nutricionales que principalmente aportan energía a nuestro organismo, aunque también intervienen en otros procesos fisiológicos, por este motivo también se les considera esenciales para un correcto funcionamiento. Sin embargo, según el tipo y la cantidad de grasa que consumamos, pueden ser aliados o principales enemigos para la salud (Aranceta, 2002). Especialmente cardiovasculares y cáncer, que constituyen las causas más frecuentes de muerte en las sociedades desarrolladas, y que en gran medida son prevenibles (Segovia, 2011).

Uno de los principales ácidos grasos de tipo monoinsaturado (oleico):  $\omega$ -9, cuya fuente es el aceite de olivo; el cual está compuesto en un 97-99% por triglicéridos y ácidos grasos libres. Hoy en día se han demostrado los efectos beneficiosos que tienen los ácidos grasos monoinsaturados, de cadena larga con un único doble enlace, y los enlaces simples de las grasas naturales que configuran en posición *cis*. Esto origina una conformación espacial de la molécula diferente, lo que conlleva importantes repercusiones en la actividad biológica de las grasas (Urrialde, 2006).



---

Las propiedades que confieren por una dieta rica en ácidos grasos omega 9 es el efecto protector sobre las enfermedades cardiovasculares, ya que producen un aumento del colesterol bueno o lipoproteínas de alta densidad (HDL, High density lipoprotein) y (HDL) y disminuyen la cantidad de colesterol malo o lipoproteínas de baja densidad (LDL, low density lipoproteins), (Serrano & Lezcano, 2005).

El rango de ingesta nutricional de acuerdo a la OMS/FAO, para la dieta nutrición y la prevención de enfermedades coronarias es de 10-15% de la energía total requerida, pero estos requerimientos también varían en función de cada persona, del sexo, la edad, el peso, la altura, la actividad física que realice, pero en líneas generales se puede decir que:

- » Hombres: entre 2,500 y 3,000 kcal/día.
- » Mujeres: entre 2,000 y 2,500 kcal/día.

En circunstancias especiales:

- » Mujeres embarazadas: +250-300 kcal/día.
- » Lactantes: +500 kcal/día.

Finalmente las proteínas de la leche poseen un amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales, incluyen su capacidad para estabilizar emulsiones y formar matrices de gel, que permiten que actúen como encapsulantes siendo eficaces en la utilización de formulaciones de alimentos. Estas proteínas en muchos casos, parecen ejercer determinados efectos biológicos y fisiológicos, *in vivo*. Las principales proteínas de leche son la caseína y proteína de suero, con las caseínas representan el 80% de la proteína total en la leche. Las caseínas principales son  $\alpha_{s1}$ -caseína,  $\alpha_{s2}$ -caseína,  $\beta$ -caseína, y  $\kappa$ -caseína. Las principales proteínas de suero son  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactalbúmina, inmunoglobulina, y albúmina de suero (Augustin & Maree, 2014). Algunas de las actividades donde se han descubierto determinados péptidos que ejercen un efecto protector sobre el organismo ya sea potenciando el sistema inmune o mostrando un efecto antimicrobiano (Baró et al., 2001). Así como también tiene ventaja por su mecanismo de gelificación y propiedades de emulsificación para manipular tanto las propiedades organolépticas de los productos finales. Además las proteínas de leche en conjunto con el cloruro de calcio, son conocidos por ser especialmente eficaz en la mejora de la estabilidad térmica y el aumento de la agregación de proteínas, por ello la ventaja de sus propiedades (Kuhn et al., 2010).

La importancia de la alimentación y, específicamente, en la nutrición del aceite de oliva, las proteínas de leche, junto con el resto de vitaminas y minerales, que integran a una dieta equilibrada al elaborar alimentos nutracéuticos, y que además con el consumo de agua y la práctica de actividad física de forma regular, hacen que sean las principales recomendaciones dietéticas para la prevención y disminución de determinadas patologías, cuya aparición está ligada a



---

determinados factores ambientales, siendo uno de ellos los malos hábitos alimentarios.

## 2.6. Tortilla de harina de trigo nutracéutica doblemente fermentada

El interés creciente por problemas de salud ha llevado a hacer grandes esfuerzos en la investigación y en el desarrollo de nuevos productos con mejores propiedades funcionales, valor nutricional, y la estabilidad del producto (Álvarez et al., 2011). De ahí, la fermentación de los cereales que logran un efecto de conservación a través de las condiciones generadas por la fermentación para asegurar la vida útil y la seguridad microbiológica de los productos, y que hoy en día, la mayoría de las fermentaciones implican procesos biológicos controlados con cultivos iniciadores seleccionados y condiciones ambientales ajustadas (Font de Valdez et al., 2011).

En este sentido, la normativa establece la realización de estudios de vida útil, que es el periodo de tiempo durante el cual mantiene una calidad adecuada para asegurar la ausencia de riesgos microbiológicos e identificar los cambios sensoriales en determinados alimentos, además aportan datos sobre cuánto tiempo un producto puede conservar inalteradas sus propiedades.

En este trabajo se formuló y desarrolló una tortilla de harina de trigo, fermentada, adicionada de probióticos y prebióticos y fortificada con proteína de leche, ácido fólico y calcio, y adicionada de aceite de origen vegetal; el método utilizado para determinar la vida útil, es por medio de pruebas físicas de textura; los cuales permiten predecir el comportamiento de los productos y anticiparse a su evolución en las condiciones habituales de almacenamiento y distribución, ayudando a cumplir los parámetros de calidad.



---

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. OBJETIVOS**

##### 3.1.1. General

Formular y elaborar una tortilla nutracéutica de harina de trigo, adicionada de probióticos, y prebióticos, enriquecida con ácido fólico y calcio, y su comparación nutrimental con la marca comercial de tortillas de mayor presencia en los hogares mexicanos, que ayude en el control de enfermedades como desnutrición y obesidad.

##### 3.1.2. Particulares

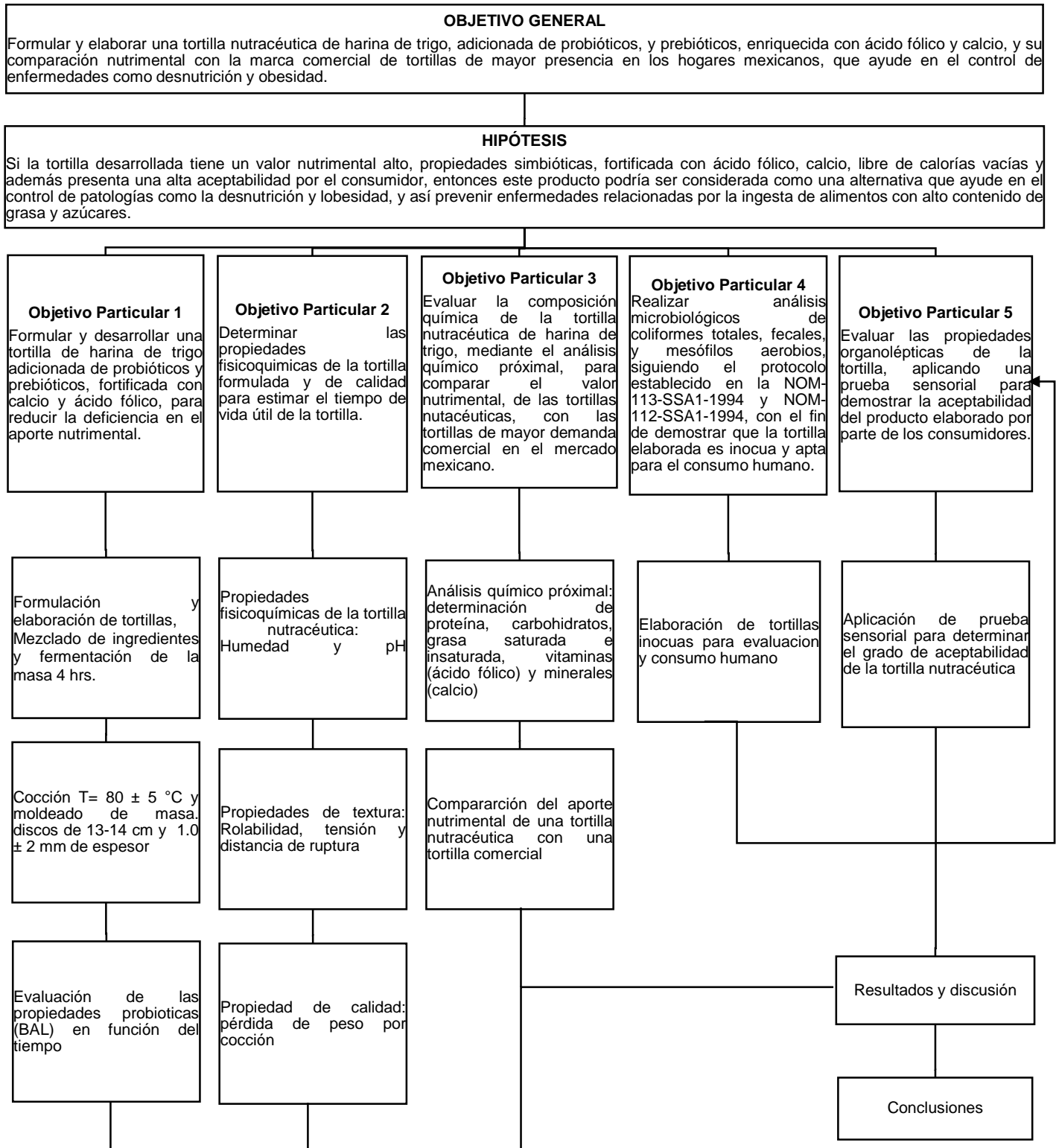
- » Formular y desarrollar una tortilla de harina de trigo adicionada de probióticos y prebióticos, fortificada con calcio y ácido fólico, para reducir la deficiencia en el aporte nutrimental.
- » Determinar las propiedades fisicoquímicas de la tortilla formulada, texturales y de calidad, para estimar el tiempo de vida útil de la tortilla.
- » Evaluar la composición química de la tortilla nutracéutica de harina de trigo, mediante el análisis químico proximal, para comparar el valor nutrimental, de las tortillas nutracéuticas, con las tortillas de mayor demanda comercial en el mercado mexicano.
- » Realizar análisis microbiológicos de coliformes totales, fecales, y mesófilos aerobios, siguiendo el protocolo establecido en la NOM-113-SSA1-1994 y NOM-112-SSA1-1994, con el fin de demostrar que la tortilla elaborada es inocua y apta para el consumo humano.
- » Evaluar las propiedades organolépticas de la tortilla, aplicando una prueba sensorial para demostrar la aceptabilidad del producto elaborado por parte de los consumidores.

#### **3.2. HIPÓTESIS**

Si la tortilla desarrollada tiene un valor nutrimental alto, propiedades simbióticas, fortificada con ácido fólico, calcio, libre de calorías vacías y además presenta una alta aceptabilidad por el consumidor, entonces este producto podría ser considerada como una alternativa que ayude en el control de patologías como la desnutrición y obesidad, y así prevenir enfermedades relacionadas por la ingesta de alimentos con alto contenido de grasa y azúcares.



### 3.3. CUADRO METODOLÓGICO





---

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los reactivos usados para llevar a cabo éste proyectos de investigación fueron marca Sigma Aldrich, los medios de cultivo fueron marca Becton Dickinson, la harina de trigo fue marca San Antonio, extra fina, fibra de inulina (origen Tequila Jalisco, México), caseinato de sodio (Globe Chemical S. A.). Para cumplir con los objetivos planteados se realizaron las siguientes metodologías

### 4.1 Preparación de la masa.

Para la elaboración de la tortilla nutracéutica, se ilustra la secuencia en el **Diagrama 1**. Cada tortilla tuvo un peso  $28 \pm 0.02$  g cada uno.

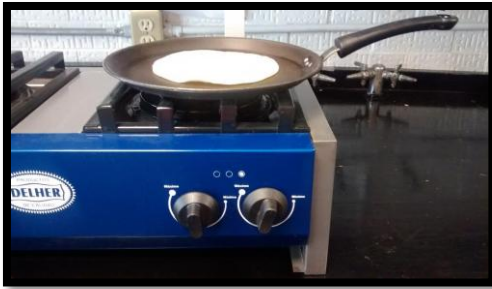
Mezclado. Cada uno de los ingredientes, harina de trigo, caseína, fibra, ácido fólico, de  $\text{CaCl}_2$ , de azúcar, aceite de oliva, sal y agua, formaron el primer mezcaldo, adicionar el cultivo de microorganismos probióticos (bacterias y levaduras), agua hasta formar una masa suave y uniforme.

Fermentación de la masa. La masa homogenizada se fermentó, temperatura ambiente, se cortaron trozos de masa de  $28 \pm 0.02$  g, y se bolearon, quedando en reposo por 4 horas aproximadamente (Hansen and Hansen, 1994). Se laminaron y formaron tortillas de diámetro de 13-14 cm,  $1.0 \pm 2$  mm de espesor, con una máquina de tortillas.

Cocción. Las tortillas se cuecen en un comal de metal marca tefal durante 15 segundos de cada lado a una temperatura de  $80 \pm 2$  °C (**Figura 4**), la temperatura de cocción se midió con un termómetro digital (**Figura 5**).

Almacenamiento. Una vez cocidas se colocaron las totillas dentro de una bolsa de polietileno y se cerró herméticamente, se enfriaron hasta alcanzar una temperatura de 25 °C durante 10-15 minutos. Mantener en refrigeraron a una temperatura de  $4 \pm 2$  °C. (**Figura 6**).





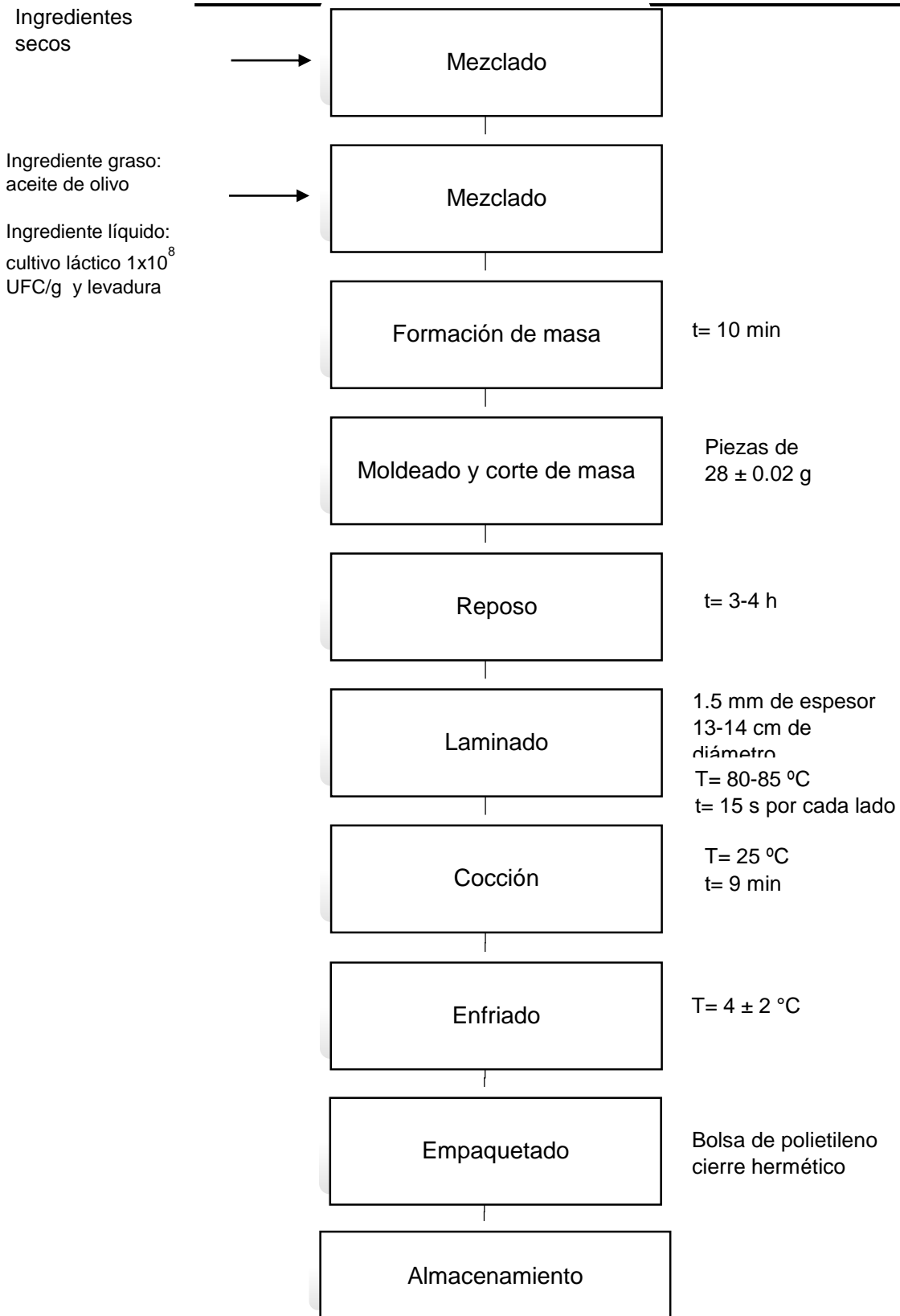
**Figura 4.** Cocción de tortillas.



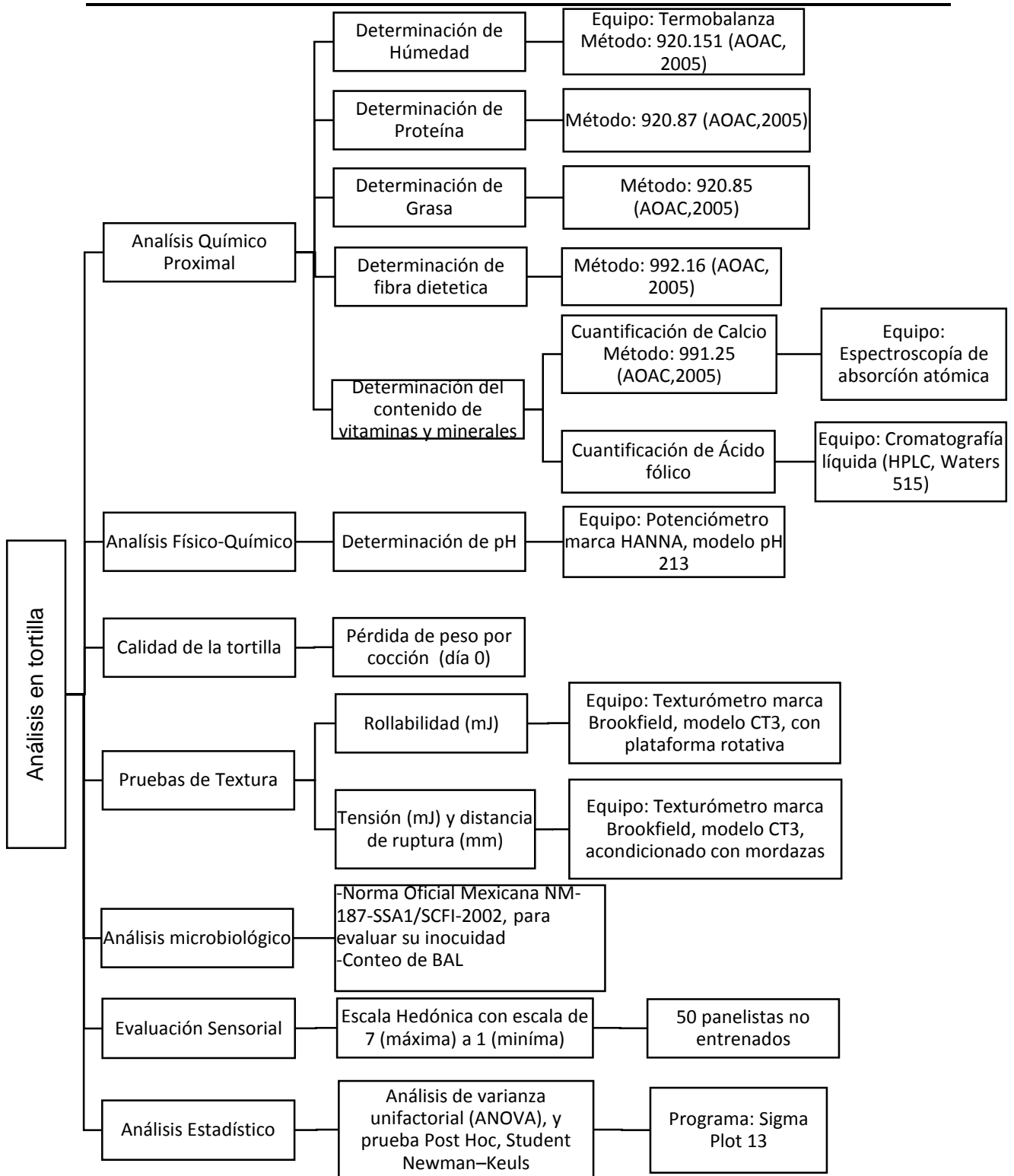
**Figura 5.** Empaquetado de tortillas de harina de trigo.



**Figura 6.** Termómetro infrarrojo, marca Fluke, modelo 561.



**Diagrama 1.** Proceso de elaboración de tortilla nutracéutica de harina de trigo.



**Diagrama 2.** Desarrollo de análisis de tortillas nutracéuticas



---

## 4.2 Análisis Físicoquímico

### 4.2.1. pH

*Fundamento:* Medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un equipo medidor de pH (potenciómetro).

La medición de pH se realizó utilizando un potenciómetro marca HANNA instruments modelo 213.



**Figura 7.** Potenciómetro marca HANNA

### 4.2.2. Determinación de Humedad por el método de Termobalanza.

*Fundamento:* El método de termobalanza se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante. La temperatura usada dependerá del tipo de alimento. El error de pesada en este método se minimiza cuando la muestra no se expone constantemente al ambiente.

El análisis se realizó en un equipo marca OHAUS, modelo MB45 el cual dispone de dos instrumentos: una balanza de precisión y una unidad desecadora. En comparación con otros métodos termogravimétricos (horno de secado, infrarrojos o microondas), el analizador de humedad halógeno funciona con una unidad desecadora halógena. Esto permite el calentamiento rápido de la muestra y, por consiguiente, la disponibilidad casi inmediata de los resultados de la medición.



**Figura 8.** Termobalanza marca OHAUS.

### 4.3. Análisis Químico Proximal

#### 4.3.1. Determinación de Proteína por el método de Micro Kjeldahl

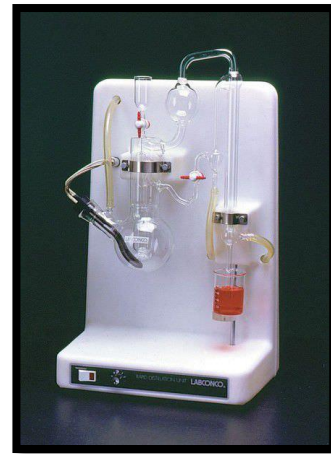
*Fundamento:* El análisis de proteínas se realiza mediante la determinación del nitrógeno orgánico 920.87 reportado en la AOAC (2005). En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila, el destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato formados se titulan con ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra.

#### **Digestión y destilación**

El digestor usado para el análisis fue marca Scorpion Scientific, modelo A-50304, **Figura 9**, y destilador LABCONCO, modelo 6500 **Figura 10** para una extracción y neutralización de gases o lavador de gases.



**Figura 9.** Digestor micro Kjelndhal marca Scorpion Scientific



**Figura 10.** Equipo de destilación marca LABCONCO.

## Titulación

La muestra destilada se titula con HCL al 0.005 N valorada en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, hasta obtener una alicuota de color morado (esto es el vire o cambio de color). Toma la lectura de mL, gastados de HCL.

Ecuación para calcular (%) de nitrógeno orgánico total

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \left( \frac{V \times N \times 0.014}{m} \right) \times 100$$

Dónde:

$V$ = volumen de HCl empleado en la titulación, en mL

$N$ = Normalidad del HCl

$m$ = masa de la muestra en g

$N$ = miliequivalente del Nitrógeno que es 0.014

factor: 6.25: para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general



Para calcular el porcentaje de proteína se debe multiplicar el % de nitrógeno por un factor de conversión calculado. Este factor va ser distinto y de acuerdo al origen del alimento, los cuales se muestran en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Factores de conversión de proteína usados para convertir nitrógeno a proteína, entre diferentes ingredientes alimenticios<sup>1</sup>.

| Ingredientes                          | Factores de conversión |
|---------------------------------------|------------------------|
| <b>CEREALES</b>                       |                        |
| Trigo, duro, medio o suave            |                        |
| Harina, harina integral               | 5.83                   |
| <b>LEGUMINOSAS, NUECES Y SEMILLAS</b> |                        |
| Soya, semillas, harina o productos    | 5.71                   |
| <b>NUECES</b>                         |                        |
| Almendra                              | 5.18                   |
| Nuez de Brasil                        | 5.46                   |
| <b>SEMILLAS</b>                       |                        |
| Ajonjolí, cártamo, girasol            | 5.30                   |
| <b>LECHE Y QUESO</b>                  | 6.38                   |
| <b>ACEITE Y GRASAS</b>                |                        |
| Margarina (vegetal o animal)          | 6.38                   |
| <b>OTROS ALIMENTOS <sup>2</sup></b>   | 6.25                   |

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S06.htm>

<sup>2</sup> Incluye todas las carnes y pescados.



#### 4.3.2. Determinación de grasa por el método de Soxhlet

*Fundamento:* El análisis de grasa se realiza mediante lo reportado en la AOAC, 920.85 (2005). Extracción de muestras sólidas con disolventes, en donde el extracto obtenido por extracción soxhlet corresponde al contenido graso de la muestra, y se determina su masa, una vez libre de disolvente, por pesada (método gravimétrico).

El porcentaje de grasa se calculó mediante la siguiente ecuación.

Ecuación para calcular G (%) de grasa total

$$\% \text{ de Grasa} = \frac{m_2 - m_1}{M} \times 100$$

En donde:

$m_1$ : masa en g del matraz bola vacío

$m_2$ : masa en g del matraz bola con grasa

$M$ : peso de la muestra en g.



**Figura 11.** Esquema del equipo de extracción Soxhlet.





---

### 4.3.3. Determinación de Fibra Dietética Total

Para determinar fibra dietética total, por método enzimático-gravimétrico 992.16 AOAC, 2005.

*Fundamento:* Muestras en triplicado de alimentos secos y desgrasados son gelatinizados con  $\alpha$ -amilasa térmicamente estable y luego digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón. La fibra dietética soluble es precipitada por la adición de etanol, el residuo total se filtra, se lava, se seca y se pesa.

Corregir el residuo restándole las cenizas y proteína correspondiente, con las siguientes ecuaciones.

Cálculo para determinación del blanco:

B = blanco

mg = masa del residuo - PB - CB

donde:

Masa del residuo = promedio de masa del residuo (mg) para la determinación blanco.

PB y CB = masa (mg) de proteína y cenizas, respectivamente en los residuos de los blancos.

Cálculo de fibra dietética total:

$\% \text{ FDT} = [ (\text{Masa del residuo} - P - C - B) / \text{Masa de la muestra} ] \times 100$

Donde:

Masa de la muestra = promedio de la masa de muestra (mg).

Masa del residuo = promedio de la masa de la muestra determinadas (mg).

P y C = masa (mg) de proteína y cenizas, respectivamente en los residuos de las muestras.

B = blanco



---

#### 4.3.4. Determinación de Cenizas Totales

El análisis se realizó de acuerdo al 930.05 AOAC (2005).

*Fundamento:* El método se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo. Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de quemar la materia orgánica. (Pearson, 1986).

Ecuación para calcular (%) Contenido de cenizas Totales

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_2} \times 100$$

$m_2$ : masa de la cápsula con las cenizas, en gramos

$m_1$ : masa de la cápsula con la muestra, en gramos

$m_0$ : masa de la cápsula vacía, en gramos

#### 4.3.5. Determinación de Calcio (Ca). Método de Espectrofotometría de Absorción y Atómica

El análisis se realizó de acuerdo a el método 991.25 AOAC, 2005.

*Fundamento:* Se basa en la destrucción de la materia orgánica por vía seca hasta lograr la digestión del alimento para posteriormente solvatar los residuos con ácido nítrico diluido para la posterior determinación concentración de  $\text{Ca}^{++}$ , por espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno.

Para determinar la concentración de calcio en muestras de alimentos con bajo contenido de grasa.



---

## Digestión de la muestra

Medición por Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Se analizó Calcio, por utilizando el espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3110 (**Figura 12**).

Para calcular la concentración de calcio presente en la muestra en mg/kg, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{mg}{Kg} \text{ del analito} = \frac{L \times 25 \times FD}{P}$$

donde:

*L*: Lectura de la concentración en mg/L obtenida por la interpolación de la curva de calibración.

*FD*: Factor de dilución. En caso de no realizar ninguna dilución, es igual a 1.

*P*: Peso de la muestra en gramos



**Figura 12.** Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

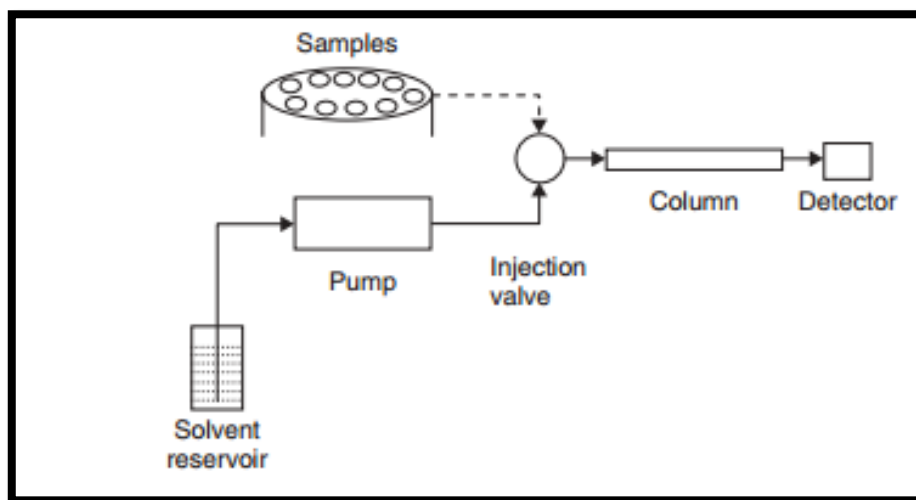


#### 4.3.6. Determinación de ácido Fólico. Método de High-performance Liquid Chromatography (HPLC)

*Fundamento:* La cromatografía líquida (HPLC), es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla. Cuenta con una columna no polar, en combinación con una mezcla (polar) de agua más un disolvente orgánico como fase móvil. La fase móvil actúa de portador de la muestra. La muestra en solución es inyectada en la fase móvil. Los componentes de la solución emigran de acuerdo a las interacciones no-covalentes de los compuestos con la columna.

Estas interacciones químicas, determinan la separación de los contenidos en la muestra (**Figura 13**). La utilización de los diferentes detectores dependerá de la naturaleza de los compuestos a determinar (Albalá et al., 1997, Márquez et al., 2013 & Snyder et al., 2009). El equipo usado para este análisis fue marca HANNA, modelo pH 213, el cual dispone de un electrodo, con su brazo-soporte, y una sonda de temperatura, además cuenta con una pantalla en la que se muestra el estado del electrodo.

Se utiliza para separar y determinar las especies en muestras de materiales orgánicos, inorgánicos y biológicos. La fase móvil es un disolvente líquido que contiene a la muestra como mezcla de solutos, (Skoog et al., 2000).



**Figura 13.** Esquema del funcionamiento de un HPLC.



---

#### 4.4. Pruebas de calidad de las tortillas

##### 4.4.1. Porcentaje de pérdida de peso

Se tomando totillas de diferentes lotes, y se calculó el porcentaje en peso de material perdido (*pp*) durante el cocimiento, pesando al tortilla antes de someterla a la cocción y después de cocida en una balanza analítica marca DENVER, modelo APX-153, (Vázquez Gricelda et al., 2010).

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$pp = \frac{(p.t. cruda - p.t. cocida)}{(p.t. cruda)} \times 100$$

dónde:

p.t. cruda = peso de la tortilla cruda (g).

p.t. cocida = peso de la tortilla cocida (g).

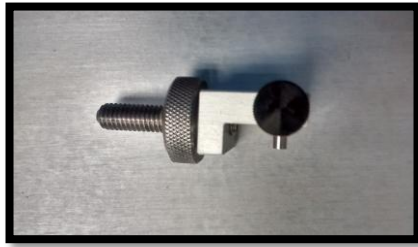
#### 4.5. Pruebas de Textura

##### 4.5.1. Rolabilidad

*Fundamento:* Es una prueba de textura que consiste en una plataforma con un cilindro rotatorio con dimensiones de 160 mm de largo, y 5 mm de diámetro, donde la tortilla es enrollada por medio de un elástico que la sostiene. El cilindro se une al brazo móvil del texturómetro por medio de un hilo. Al subir el brazo del texturómetro, hace girar el cilindro lo que ocasiona que la tortilla sujeta a éste se enrolle. Antes de efectuar la prueba se coloca el dispositivo sobre la plataforma del texturómetro y el hilo se sujeta al brazo móvil del mismo con un aditamento para este fin.

El brazo móvil se calibra con la base de manera que la prueba se realiza en una velocidad de 3 mm/s y carga de activación de 1 g, por una distancia de 90 mm. El equipo muestra un gráfico de fuerza de carga (g) por deformación en tiempo (s). La prueba de rolabilidad se efectúa en las tortillas recién elaboradas una vez que alcanzaron la temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C), (Suhendro et al., 1998)

El equipo usado para este análisis se presenta en las **Figuras 14,15 y 16**, fue un texturómetro marca Brookfield, modelo CT3, con una celda de carga de 4500 g.



**Figura 14.** Dispositivo que se coloca en la sonda del Texturometro.



**Figura 15.** Plataforma rotativa.



**Figura 16.** Texturometro Brookfield CT3, roabilidad.

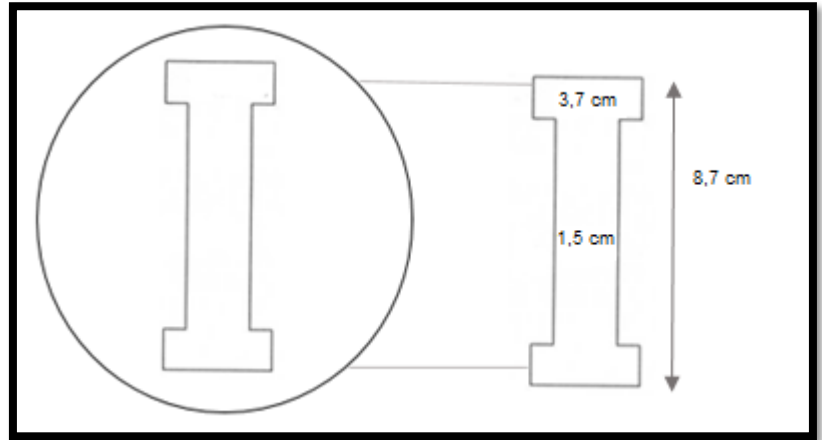
#### 4.5.2. Prueba de Tensión y distancia de ruptura

*Fundamento:* La muestra es previamente cortada, la cual se sostiene por medio de pinzas que se colocan en el texturómetro y así presiona la muestra por la parte inferior y superior. Con condiciones de distancia de 100 mm del brazo y a una velocidad de 3 mm/s y carga de activación de 1 g, de manera que el brazo sube, lo que ocasiona que la muestra sea sometida a dos fuerzas opuestas. Por lo que se obtiene el resultado en unidades de millijoule (mJ), (Souza et al., 2012).

El equipo usado para este análisis fue un Texturómetro marca Brookfield, modelo CT3, con una celda de carga de 4500 g, se muestra en las **Figuras 17, 18 y 19.**



**Figura 17.** Mordazas tipo Volodkevitch



**Figura 18.** Representación esquemática y dimensiones de la forma usada para la determinación de tensión.



**Figura 19.** Texturometro Brookfield CT3, prueba de tensión



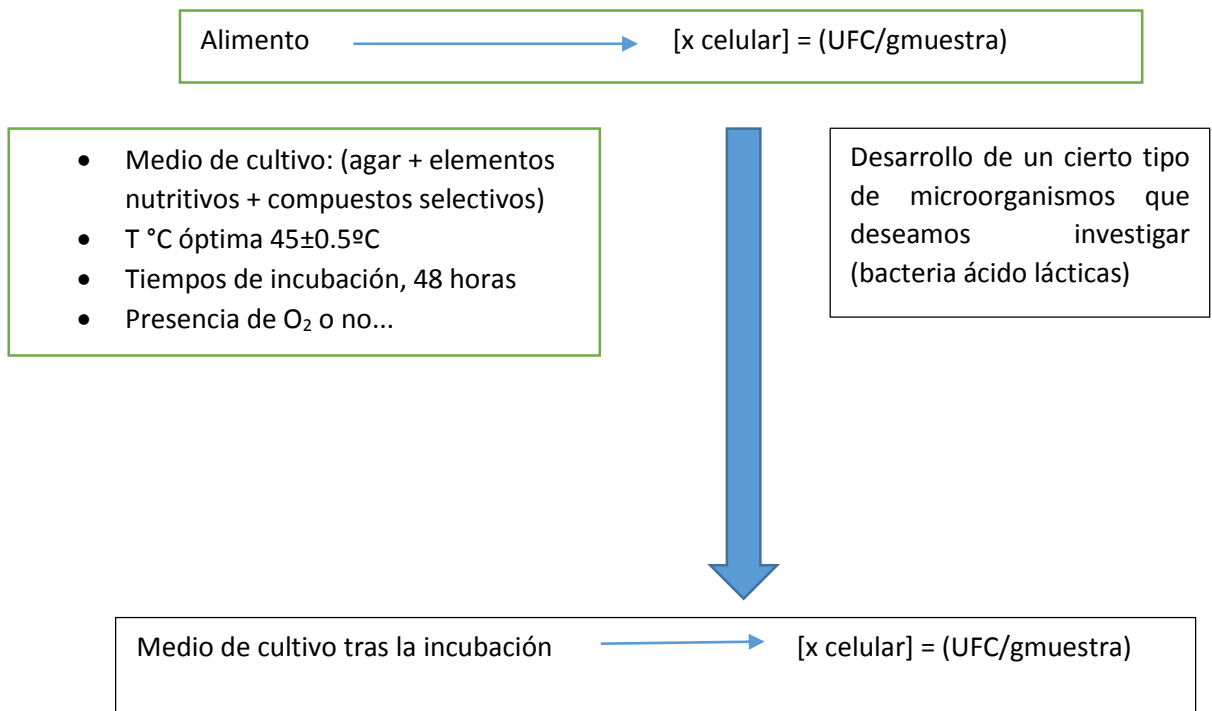
## 4.6. Análisis Microbiológicos

### 4.6.1. Recuento de Bacterias Ácido Lácticas

*Fundamento:* La técnica se basa en contar las “unidades formadoras de colonias” o presentes en un gramo de muestra (UFC/ g de tortilla), (**Figura 20**). Se considera que cada colonia que desarrolla en el medio de cultivo de elección después de un cierto tiempo de incubación a la temperatura adecuada, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos, de la muestra bajo estudio; ese microorganismo o microorganismos son capaces de formar la colonia, es decir una UFC/ g. Para que las colonias puedan contarse de manera confiable, se hacen las diluciones decimales necesarias de la muestra, antes de ponerla en el medio de cultivo (Betancourt, et al., 2014).

Esta determinación se llevó a cabo utilizando la técnica de recuento en placa por sembrado masivo; esparciendo la muestra por toda la superficie del medio de cultivo sólido imprimiéndolo un movimiento en espiral, con el propósito de evaluar las propiedades probióticas de la tortilla, para ello en medio agar rogosa (**MRS**), se contaron las UFC/g de tortilla (Unidades Formadoras de Colonias/g de muestra), tomando una muestra cada tres días hasta los 30 días.

#### Recuento (bacteria ácido lácticas) tras el cultivo: método clásico.



**Figura 20.** Fundamento del método clásico de recuento tras cultivo en agar





---

#### 4.6.2. Determinación de Coliformes Totales y Fecales, y mesófilos aerobios.

*Fundamento:* los coliformes agrupan a las enterobacterias lactosa-positivo y productoras de gas.

El recuento se realiza en medio selectivo de agar desoxicolato lactosa tras incubación a  $37 \pm 0.5^\circ \text{C}$  durante 2 días. En el grupo bacteriano de coliformes fecales, se encuentran los que son capaces de multiplicarse a  $44 \pm 0.5^\circ \text{C}$ . Es decir esencialmente *E. coli*. Cuando está presente en un alimento, es indicativa de una contaminación fecal reciente, una tasa elevada puede provocar desórdenes intestinales. La **NOM-187-SSA1/SCFI-2002**, no permite la presencia de coliformes fecales en los alimentos ya que son indicio de prácticas higiénicas dudosas.

#### 4.6.3. Recuento de mesófilos aerobios.

*Fundamento:* La técnica de vertido en placa, se basa en contar las “unidades formadoras de colonias” o UFC presentes en un gramo o mililitro de muestra. Se considera que cada colonia que desarrolla en el medio de cultivo de elección después de un cierto tiempo de incubación a la temperatura adecuada, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos, de la muestra bajo estudio; ese microorganismo o microorganismos son capaces de formar la colonia, es decir una UFC. Para que las colonias puedan contarse de manera confiable, se hacen las diluciones decimales necesarias de la muestra, antes de ponerla en el medio de cultivo (Camacho, et al., 2009).



---

#### 4.7. Evaluación Sensorial.

Las tortillas de harina nutraceuticas se sometieron a evaluación sensorial utilizando cincuenta (50) adultos de edades entre 18-56 años, no entrenados, dentro de la comunidad universitaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Las tortillas se evaluaron por el color, apariencia, aroma, sabor, textura, sensación en la boca y la aceptabilidad general. Las clasificaciones se realizaron en una escala hedónica de 7 puntos que van desde 7 (como me gusta mucho) a 1 (me disgusta mucho), (Anton et al., 2009). Las personas que evaluaron es un sector que regularmente consumen tortillas de harina. Cada persona recibió una bandeja que contenía la muestra de la tortilla. Los sujetos fueron instruidos para evaluar las muestras y sus gustos sobre el producto, de acuerdo a los parámetros que se les presentó en una hoja donde realizaban su evaluación.

#### 4.8. Análisis Estadístico

Se utilizó un tamaño de muestra de  $n=5$ , todos los datos se presentan como la media +/- del error estándar, la confiabilidad, tensión, distancia, tiempo de vida media fue calculada usando un análisis de varianza unifactorial (ANOVA) de medidas repetidas, seguida por una prueba Post Hoc de Student Newman-Keuls, las diferencias fueron consideradas significativas cuando ( $p < 0.05$ ). Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el programa Sigma Plot 13 (Jandel Corp., SPSS Inc., San Rafael, CA, USA).



---

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Interacción de los ingredientes de tortilla de harina de trigo nutracéutica

**Harina de trigo.** La harina de trigo tiene un contenido proteico moderado (11,4 g / 100 g). Una forma de modificar las deficiencias de calidad de las harinas de trigo es añadir otros componentes, con el fin de proporcionar un contenido de proteína más alto, y proporcione beneficios para la salud. Las proteínas del gluten de trigo no sólo son "proteínas de gluten", o prolaminas, sino también proteínas solubles (albúminas y globulinas) que incluyen 8-10% (Islam et al., 2012).

Sin embargo el gluten juega un papel importante en la funcionalidad de la tortilla, compuesto por gliadina y glutenina. Donde las moléculas de gliadina reduce la rigidez y aumenta la capacidad de extensión de la fase de gluten, dado por los enlaces disulfuro intermoleculares. Por otra parte las gluteninas constan de cadenas polipeptídicas unidas con enlaces disulfuro intramoleculares que le dan la fuerza necesaria para la retención del gas, resultando una masa elásticas y viscosa (Létang et al., 1999).

**Probióticos.** Son Bacterias ácido lácticas: Las bacterias utilizadas, son un importante grupo de microorganismos gram positivos con una alta resistencia al calor (termófilas), con comportamiento heterofermentativo como *Lactobacillus plantarum*, y homofermentativas como *Lactobacillus casei shirota* y *Lactobacillus bulgaricus*. La alta resistencia al calor, es debido a una adaptación de las células en fase exponencial, como es el caso de *Lactobacillus plantarum*, a 42 ° C durante 1 h, hasta una resistencia al calor a 92 ° C durante 90 segundos (Gobbetti et al., 2005).

En primer lugar, su metabolismo de hidratos de carbono es altamente adaptable a las principales fuentes de energía en masa, maltosa y fructosa; relacionadas con el sabor, la textura, y la vida útil (De Vuyst y Neysens, 2005). Por lo que, las bacterias ácido lácticas al aumentar la acidez de la masa, permiten mejorar la capacidad de gluten para mantener y aumentar la producción de CO<sub>2</sub> generado también por la levadura durante la fermentación de la masa. (Messia et al., 2016). Debido al desarrollo del gluten, permite contener los gránulos de almidón durante la cocción, y en consecuencia una mejor distribución del agua. Esto se ocasiona por la reducción de los enlaces disulfuro inter-proteína durante la mezcla de la masa aumentando la solubilidad de gliadinas gluteninas, y ácidos láctico y acético; haciendo un mejor aprovechamiento de las proteínas del gluten, mejorando el sabor, sin efectos adversos sobre la textura en el producto final (Thiele et al., 2002). La fermentación por BAL mejora la vida útil de los productos a base de masa fermentada (Gerez et al., 2009).



---

Durante la fermentación de la masa, las BAL prevalecientes producen ácidos orgánicos (principalmente ácido láctico y ácido acético, así como también feniláctico, fórmico y butírico), etanol, compuestos volátiles y péptidos (por ejemplo, bacteriocinas), alcanzando la vida útil de 45 días (Gänzle *et al.*, 2007).

**Levadura.** La levadura empleada en la tortilla es *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*), su función principal es fermentar la masa, produciéndose CO<sub>2</sub> y algunos subproductos que van a conferir a la tortilla determinadas características organolépticas, en concreto una cierta acidez. Este CO<sub>2</sub> queda atrapado en la masa, en la red tridimensional formada durante el amasado.

Las principales ventajas de usar levaduras y no un agente químico es que las primeras contribuyen a las características de sabor, aroma al producto, y a la evolución del gas continúa por un periodo de tiempo más largo (Mesas & Alegre, 2002).

**Proteínas de leche.** Para maximizar los beneficios de componentes bioactivos en los alimentos, se utilizó la proteína de leche. Además de que mejorar la calidad de la proteína (Rooney and Serna, 2015), también funcionan como materiales encapsulantes, beneficiando así a los demás componentes de la tortilla (bacterias lácticas, el aceite vegetal, vitaminas, minerales, péptidos y aminoácidos bioactivos), esto cuando las tortillas son expuestas a la degradación por la temperatura en la cocción (Gouin, 2004).

### **Prebiótico**

**Fibra dietética:** Los beneficios para la salud de la fibra dietética incluyen mejora la digestión y propiedades de protección contra la enfermedad coronaria, la diabetes, la obesidad y algunas formas de cáncer, como el cáncer de colon (Santana *et al.*, 2016). La fibra soluble no digerible se compone principalmente de pectina, goma y fructoligosacáridos. La fibra es capaz de reducir la disponibilidad de agua durante la cocción entre otros (Salazar *et al.*, 2014). Se emplea en la preparación de varios alimentos para darles cuerpo, textura, consistencia, viscosidad y humedad, proporciona una sensación en la boca similar a la grasa y se ha empleado con éxito para reemplazar la grasa en postres helados, aderezos, rellenos y productos lácteos, así como para añadir fibra a productos alimenticios como en este caso la tortilla de harina (Niness, 1999).

**Calcio.** Es un mineral que su carencia resulta principalmente en enfermedades de los huesos y los dientes. El calcio es necesario también en la coagulación de la sangre, el funcionamiento de ciertas enzimas, y para el control de líquidos a través de las membranas celulares. Un porcentaje también es absorbido por la corriente sanguínea (Potter, 1978). El papel del calcio influye en el grado de formación de red a través de blindaje electrostático de las moléculas con carga negativa, así como en la reducción de la degradación del almidón por  $\alpha$ -amilasa, dado por la fuerza iónica, en forma de iones de calcio añadidos, lo que influye en



---

gran medida en la cinética de gelificación de la proteína de suero de leche que conduce a una variabilidad significativa en el potencial hidrolítica de  $\alpha$ -amilasa en almidón de trigo (Yang et al., 2014). Este tipo de comportamiento ha sido de mucho interés en las propiedades estructurales en mezclas de proteínas globulares-polisacárido.

**Ácido fólico.** Como objetivo es aumentar la ingesta de folatos, especialmente prevenir anemias de origen dietético, fundamentalmente en los grupos de mayor riesgo, es decir, niños, adolescentes, embarazadas y mujeres en edad reproductiva (Russo et al., 2014). La harina de trigo fue seleccionada como vehículo de fortificación para estos nutrimentos porque las tortillas son un alimento de consumo diario en México y la adición, con una cantidad adecuada, es posible sin alterar sus características organolépticas.

**Sal.** La sal evita obtener un producto insípido y sin volumen. La falta de sal en la masa es evidente ya que la mezcla es pegajosa y blanda. La adición de sal permite controlar la velocidad de fermentación, ya que sin esta la fermentación sería demasiado rápida, además de que permite que el gluten tenga la capacidad de ser elástico durante el mezclado de manera que la fortalece (Salgado & Jiménez, 2012). Se sabe que la reducción de sal conduce a un aumento de la fuerza de la masa mientras que la acidificación operado por las BAL y los productos de fermentación como ácidos orgánicos, disminuyen el pH de la masa, lo podría inducir una degradación mayor de la red de gluten que resulta en una disminución de la fuerza de la masa (Valerio et al., 2017), por ello la importancia en su adicción.

**Aceite de olivo.** Presenta efectos positivos sobre la salud de los consumidores que lo convierten en un alimento funcional. El aceite de oliva añadido a los productos con trigo es una buena fuente de ácidos linoleico y linolénico que ayuda a aumentar el valor nutricional y reducir la oxidación de los lípidos (Álvarez, 2011). La adición de conduce a una mejora en el perfil nutricional de la tortilla, en comparación con las tortillas comerciales.

**Mecanismo de formación de masa:** Al principio, los resultados de la transferencia de calor en una expansión de las celdas de gas contenidas en la masa fermentada a través de: 1) el aumento de  $\text{CO}_2$  de producción por las BAL y la levadura, de esta última la velocidad reacción es regulada por medio de la sal, 2) de expansión de gas, 3) vaporización del  $\text{CO}_2$  y etanol, por la transformación de la glucosa y 4) la vaporización de humedad. Sin embargo, al alcanzar una cierta temperatura, gelatiniza el almidón al ser hidratado y se coagulan las proteínas del gluten, que conducen al ajuste de la masa, y por lo tanto a una estructura amorfa que cubre las celdas de gas. Con rangos de gelatinización de 58-64 °C (Martínez y Gómez, 2017). Los cambios estructurales se producen durante todo el proceso y comprenden principalmente la solidificación y expansión. La estructura de la red se debe predominantemente a



la gelatinización del almidón, el cual es retrasado debido a la disminución del pH por las BAL por medio de fuentes de energía (sacarosa y fibra dietética), formando así una red con mayor fuerza y distribución del agua a causa de reducir los enlaces disulfuro, reteniendo los gránulos de almidón; porque las proteínas del suero de leche hacen su función de emulsificar y gelificar la masa, con ayuda de los iones calcio, dando estabilidad durante la cocción y almacenamiento.

## 5.2. Análisis Químico Proximal y tabla comparativa de contenido nutrimental

Las pruebas de humedad y textura en la tortilla se monitorearon a las 2 horas de haber sido elaboradas y posteriormente cada 72 horas hasta llegar a un mes de observación, las tortillas fueron mantenidas en refrigeración a  $4 \pm 2$  °C.

A continuación en la **Tabla 4**, se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal donde se compara entre una tortilla nutracéutica y una tortilla comercial de mayor demanda en el mercado mexicano, en los resultados se puede apreciar que la tortilla nutracéutica tiene un aporte proteico alto, y contiene fibra a diferencia de la tortilla comercial que carece de éste en su composición, además que proporciona calorías vacías, es decir, el aporte de nutrimentos es bajo e insuficiente.

**Tabla 4.** Comparación de Tortilla Nutracéutica y Tortilla Comercial, en porción por 100 g y en  $25 \pm 1$  g.

| Componente                 | Tortilla nutracéutica<br>Por cada 100 g | Tortilla nutracéutica<br>Por porción<br>de $25 \pm 1$ g | Tortilla comercial<br>Por cada 100 g | Tortilla comercial<br>porción de<br>$25 \pm 1$ g |
|----------------------------|---|---|--------------------------------------|--|
| Proteína                   | 10.0                                    | 2.80  | 7.75                                 | 1.9  |
| Fibra                      | 3.88                                    | 1.0   | 0                                    | 0  |
| Grasa                      | 4.0                                     | 1.032   | 9.68                                 | 2.5  |
| Saturada                   | 1.37                                    | 0.361   | 5.81                                 | 1.5  |
| Insaturada                 | 2.63                                    | 0.68  | 3.87                                 | 1.0  |
| Minerales                  | 0.477                                   | 0.123   | --                                   | --   |
| Ácido Fólico<br>( $\mu$ g) | 34.2                                    | 8.82  | 23.25                                | 5.81   |
| Calcio (mg)                | 49.223                                  | 11.85   | 23.25                                | 6  |
| Carbohidratos              | 45.93                                   | 12.56   | 50.388                               | 13   |

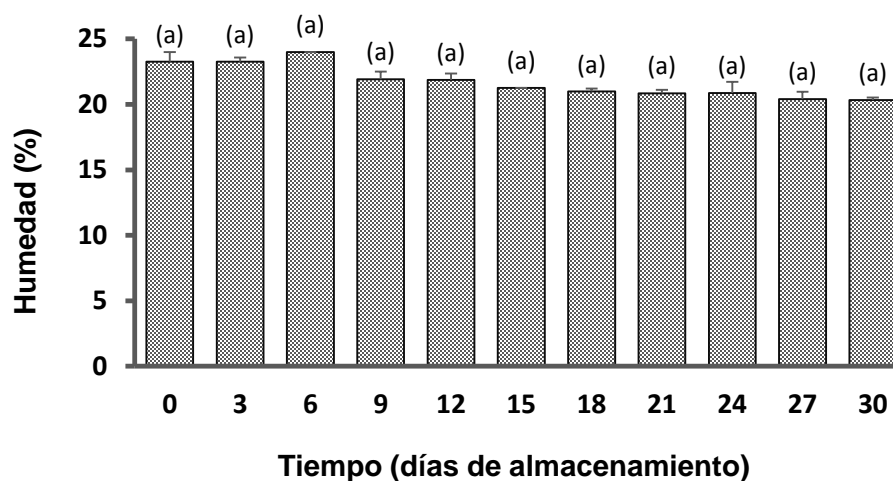
Por lo tanto el consumo de la tortilla nutracéutica puede beneficiar a las personas con problemas de obesidad o sobrepeso por su contenido en fibra y grasa insaturadas, pero sobre todo por sus características simbióticas (propiedades probióticas y prebióticas). Ya que por una parte su efecto prebiótico, tiene como



atributo disminución en el transporte del colesterol. Por otro lado, la inulina se ha definido como un prebiótico por estimular el crecimiento y la actividad de bacterias potencialmente saludables para la función intestinal como las bifidobacterias y, además, actúa como un sinergista probiótico al mejorar el crecimiento de probióticos que son bacterias vivas que se agregan a la dieta del huésped y promueven salud (Balcázar et al., 2003). Así como también, puede ser una alternativa para el control de los problemas de desnutrición que existen en nuestro país por su contenido proteico alto y por no requerir de refrigeración, conservación (por el pH), lo cual permite su traslado a comunidades donde se carece de servicios eléctricos. Otra de las características de esta tortilla es que está libre de gomas u otros aditivos, conservadores (por el ácido láctico y otros ácidos orgánicos producidos durante las fermentaciones), además el consumo de dos tortillas equivale a un vaso de leche, siendo un producto alternativo para el consumidor.

### 5.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas y de textura

En la **Gráfica 1**, se presentan los resultados de la pérdida de humedad a diferentes tiempos durante 30 días, nótese que la humedad de la tortilla recién hecha y fría fue  $24.002 \pm 0.001\%$ , y que a medida que transcurre el tiempo la humedad  $20.320 \pm 0.213\%$  a pesar de que la diferencia en la pérdida de humedad al inicio de elaboración y al final del almacenamiento (30 días) fué de  $3.682\%$ , no existen diferencias significativas en la pérdida de esta a lo largo del tiempo.



**Gráfica 1.** Valores promedio de la Humedad en función del tiempo de almacenamiento, n=5, análisis de varianza unifactorial (ANOVA), Literales diferentes





---

Esto pudiera ser debido a que cuando el almidón se calienta a una temperatura superior a 55-60 °C, los gránulos absorben agua, se hinchan, y pierde su estructura; además, la amilosa se solubiliza. Este fenómeno se conoce como gelatinización del almidón y da lugar a un sistema compuesto de gránulos hinchados y porosos (esqueletos de amilopectina), suspendidos en una solución caliente de amilosa. Cuando la temperatura del almidón gelatinizado disminuye, se forma un gel progresivamente más rígido, que se retrae debido a que se elimina agua y a que las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan bajo una forma cristalina mucho más generalizada que en el estado nativo del almidón. Esta reorganización se denomina retrogradación (Badui, 2006). Así que, este proceso ocurre como dos procesos cinéticamente distintos: la rápida gelación de la amilosa a través de la formación de segmentos de cadena de doble hélice que es seguida por la agregación hélice-hélice, y la recristalización lenta de las cadenas de amilopectina. Mientras que la amilosa parece dominar las etapas iniciales de la retrogradación, los principales cambios en rigidez y cristalinidad de los geles de almidón son generalmente atribuidos a la amilopectina (Larsson & Eliasson, 1996).

Lo que significa que durante la cocción de la tortilla se formaron enlaces de hidrógeno entre el almidón y el gluten, además la adición de cloruro de calcio, fibra dietética y las proteínas del suero de leche retrasa la retrogradación, luego durante el almacenamiento, tanto el número de interacciones como su fuerza se incrementaron; ya que todos estos ingredientes conforman una red, cuya fuente de energía en la tortilla son los hidratos de carbono. De manera que en el recalentamiento, la frescura de la tortilla se recupera debido a que los enlaces hidrógeno y los innumerables enlaces formados entre las moléculas de los polímeros del almidón y el gluten, los cuales se rompen (Salinas & Aguilar, 2010).

Sin embargo la retrogradación del almidón es suficiente para el proceso de cambios de textura, por su mayor contenido de este polímero; encontrándose con aproximadamente la mitad de gránulos grandes y gránulos pequeños, para una ocupación global del 70% del volumen de la masa de la tortilla de harina de trigo, pero en menor proporción por la adición de los demás ingredientes en comparación con tortillas comerciales (Létang et al., 1999).

Existe una relación en la velocidad de retrogradación del almidón siendo directamente proporcional al contenido de humedad (Fernández y Bárcenas, 2011), es decir que la distribución y pérdida del agua en el producto dan lugar a cambios en las características de textura.

Las características favorables de textura de una tortilla recién elaborada, son suavidad y extensibilidad, las cuales se pierden dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento. La tortilla como es lógico pierden humedad y rolabilidad a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, sin embargo si se frota con un poco de agua la superficie al ser recalentada ésta recupera su flexibilidad,

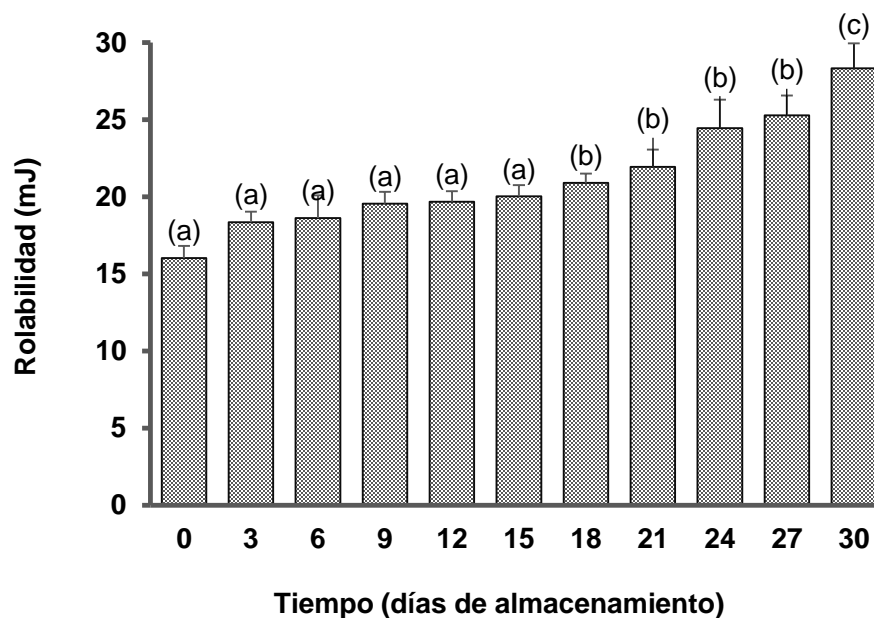




siendo similar a la de un producto recién elaborado, por lo que no necesito la aplicación de un trabajo mayor para enrollar la tortilla debido a los hidratos de carbono no digeribles que incluyen grandes polisacáridos (inulina, almidones resistentes, azúcares no absorbidos y alcoholes). Esta característica es importante para los consumidores, ya que una tortilla de buena calidad abarca su capacidad para retener la flexibilidad y ser lo suficientemente grande para envolver alimentos (Jondiko et al., 2016).

En **Gráficas 2, 3 y 4**, se presentan los resultados de las pruebas de rolabilidad, tensión y la distancia recorrida hasta el corte de la pieza (mm), que se tomó como extensibilidad, de lo cual se obtuvo la fuerza máxima requerida para cada uno de estos parámetros.

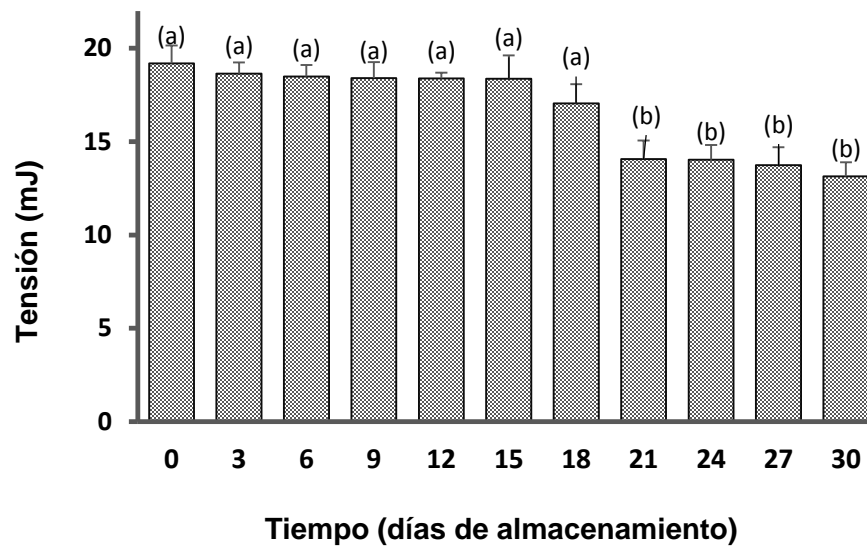
Para las pruebas de rolabilidad (**Gráfica 2**), a medida que transcurre el tiempo esta se incrementa, al tiempo cero las tortillas presentaron un valor de  $16.842 \pm 0.787$ , los resultados mostraron diferencias significativas en la rolabilidad a los 18, 21, 24, 27, 30 días ( $20.913 \pm 0.588$ ,  $21.937 \pm 1.120$ ,  $24.443 \pm 1.864$ ,  $25.275 \pm 1.289$ ,  $28.340 \pm 1.599$ ).



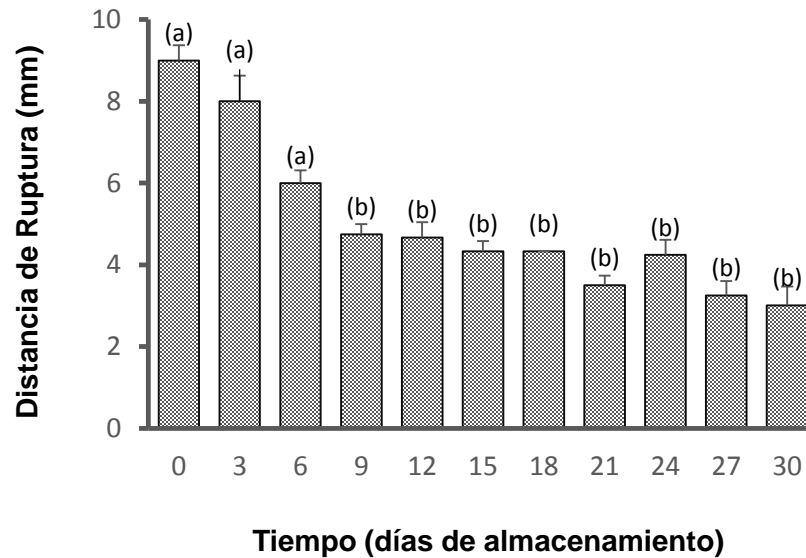
**Gráfica 2.** Valores promedio del efecto de la Rolabilidad en función del tiempo de almacenamiento,  $\pm$  Error Estándar,  $n=5$ , literales diferentes,  $P < 0.05$ .



Para la tensión (**Gráfica 3**), a medida que transcurre el tiempo esta aumenta, las diferencias significativas se presentaron en los 21, 24, 27, 30 días ( $14.072 \pm 0.986$ ,  $14.040 \pm 0.775$ ,  $13.738 \pm 0.956$ ,  $13.143 \pm 0.756$ ),  $p < 0.05$ , mientras que la distancia recorrida hasta el corte de la pieza (mm), o extensibilidad (**Gráfica 4**), disminuyó a lo largo del mes de análisis, encontrándose diferencias significativas a los días 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 y 30 ( $4.75 \pm 0.245$ ,  $4.66 \pm 0.374$ ,  $4.33 \pm 0.250$ ,  $4.33 \pm 0.250$ ,  $3.50 \pm 0.239$ ,  $4.25 \pm 0.367$ ,  $3.25 \pm 0.354$ ,  $3.50 \pm 0.239$ ).



**Gráfica 3.** Valores promedio del efecto de la Tensión en función del tiempo de almacenamiento,  $\pm$  Error Estándar,  $n=5$ , literales diferentes,  $p < 0.05$ .



**Gráfica 4.** Valores promedio de la Distancia de Ruptura en función del tiempo de almacenamiento,  $\pm$  Error Estándar,  $n=5$ , literales diferentes,  $P < 0.05$ .

La tortilla al ser sometida a un proceso de tensión, en el cual simula el estiramiento o rasgado que sufre durante la manipulación durante su consumo, es decir, máximo estiramiento antes de provocarse una ruptura cuando es sometida a una tensión, proceso similar al que se lleva a cabo durante la manipulación. Al evaluar este parámetro las tortillas recién elaboradas requieren de menor fuerza para someterlas a una tensión y con ello un estiramiento con lo que se obtienen mayores distancias de extensibilidad, en contraste tortillas almacenadas se vuelven rígidas y poco flexibles, las cuales necesitan de una mayor fuerza para provocar un estiramiento y presentan menores distancias de extensibilidad; sin embargo esta tendencia puede ser modificada favorablemente por la adición de agua, debido a que no disminuyó considerablemente esta característica durante el proceso de cocción y de almacenamiento, con la fermentación y los procesos en conjunto con los demás ingredientes retrasando el fenómeno de retrogradación, por lo tanto se obtienen tortillas suaves y flexibles.



El efecto de la adición en la harina de trigo, con prebióticos, probióticos, proteína de leche, calcio y las fuentes de consumo para llevar a cabo las fermentaciones, tienen consecuencia en la textura de la masa de la tortilla que se resume en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Perfil de textura (rolabilidad, tensión, distancia humedad y pH de la tortilla de harina de trigo Nutraceútica, doblemente fermentada).

| Tiempo de almacenamiento (Días) | Rolabilidad (mJ)    | Tensión (mJ)        | Distancia (mm)    | Humedad (%)         | pH                |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 0                               | 16.842±0.787<br>(a) | 19.195±0.962<br>(a) | 9.00±0.374<br>(a) | 24.002±0.001<br>(a) | 6.20±0.549<br>(a) |
| 3                               | 18.357±0.675<br>(a) | 18.648±0.588<br>(a) | 8.00±0.633<br>(a) | 23.262±0.319<br>(a) | 6.08±0.367<br>(a) |
| 6                               | 18.616±1.485<br>(a) | 18.488±0.625<br>(a) | 6.00±0.316<br>(a) | 23.266±0.742<br>(a) | 6.16±0.687<br>(a) |
| 9                               | 19.563±0.754<br>(a) | 18.407±0.862<br>(a) | 4.75±0.245<br>(b) | 21.930±0.581<br>(a) | 6.12±0.437<br>(a) |
| 12                              | 19.690±0.670<br>(a) | 18.390±0.305<br>(a) | 4.66±0.374<br>(b) | 21.881±0.468<br>(a) | 6.09±0.570<br>(a) |
| 15                              | 20.037±0.724<br>(a) | 18.373±1.248<br>(a) | 4.33±0.250<br>(b) | 21.251±0.002<br>(a) | 6.01±0.419<br>(a) |
| 18                              | 20.913±0.588<br>(b) | 17.057±1.031<br>(a) | 4.33±0.010<br>(b) | 20.982±0.234<br>(a) | 6.04±0.626<br>(a) |
| 21                              | 21.937±1.120<br>(b) | 14.072±0.986<br>(b) | 3.50±0.239<br>(b) | 20.840±0.264<br>(a) | 5.98±0.433<br>(a) |
| 24                              | 24.443±1.864<br>(b) | 14.040±0.775<br>(b) | 4.25±0.367<br>(b) | 20.880±0.832<br>(a) | 5.92±0.386<br>(a) |
| 27                              | 25.275±1.289<br>(b) | 13.738±0.956<br>(b) | 3.25±0.354<br>(b) | 20.400±0.567<br>(a) | 5.65±0.433<br>(a) |
| 30                              | 28.340±1.599<br>(c) | 13.143±0.756<br>(b) | 3.01±0.461<br>(b) | 20.320±0.213<br>(a) | 5.23±0.316<br>(a) |

Media de 5 repeticiones (n=5) ± Error estándar, literales diferentes P < 0.05.

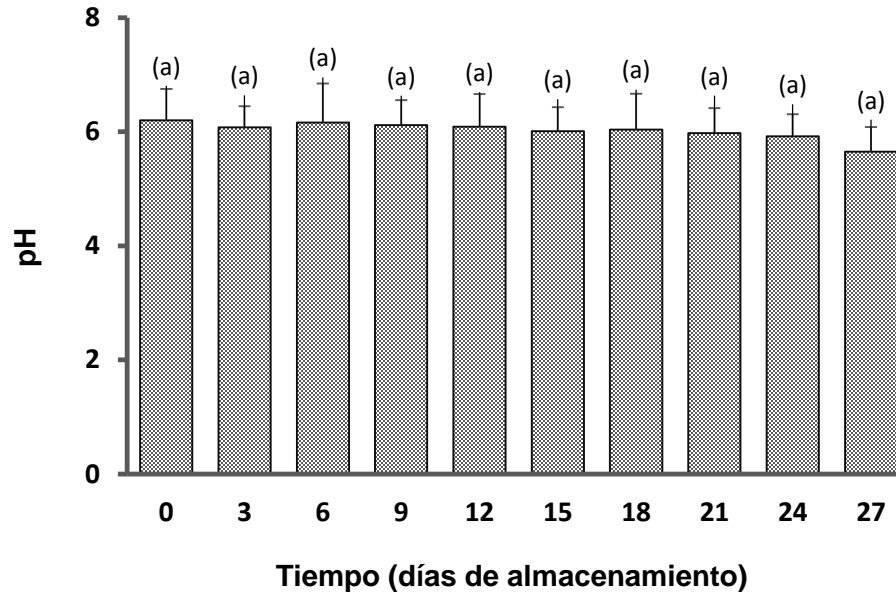
**Rolabilidad.** La rolabilidad no fue significativamente diferente (P < 0.05), por el tiempo de almacenamiento en refrigeración, sin embargo muestran que las tortillas aún son flexibles sin ninguna grieta y aceptables incluso después de 45 días. Esto sucedió por el contenido de proteínas, y esta característica da mayor estabilidad de almacenamiento para estas tortillas. Resultado de la acidificación de la masa causada por el producto de fermentación, lo que contribuye a activar la proteólisis enriqueciendo así la masa correspondiente con mayor contenido de proteínas solubles.

**Tensión y distancia de ruptura (extensibilidad).** Se considera que las gliadinas contribuyen a la viscosidad del gluten como elementos plastificantes, y la extensibilidad del gluten, mientras que la glutenina contribuye a la elasticidad y



resistencia de la masa, dando a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (Ribeiro, 2009). Pero con la adición de probióticos que solubilizan las proteínas del trigo, sin embargo no modificaron estas propiedades durante el desarrollo de la prueba. Dicho esto, las tortillas frescas son más extensibles (tenían una mayor distancia de rotura y valores de trabajo) que las tortillas con mayor tiempo de almacenamiento (valores más bajos), pero como se menciona anteriormente se puede resolver añadiendo un poco de agua para reestablecer sus propiedades. La harina de trigo tiene una mayor absorción de agua, debido a la presencia de fibra y azúcares añadidos sin tener que competir con la proteína y el almidón por el agua. De modo que, la harina de trigo produce una masa más fuerte.

En cuanto al pH (Serna et al., 1988), valores entre pH de 5.5 a 6.0 es recomendado para producir un color óptimo, y con la producción de ácidos de tipo orgánico por acción de levadura y bacterias lácticas durante la fermentación se mejora la efectividad, sin ayuda de conservadores y estabilizadores (**Gráfica 5**).



**Gráfica 5.** Valores promedio del pH en función del tiempo de almacenamiento,  $\pm$  Error Estándar,  $n=5$ , literales diferentes,  $P < 0.05$ . Análisis de varianza unifactorial



---

#### 5.4. Análisis microbiológico

Los alimentos deben de estar libres de microorganismos patógenos, de residuos químicos de origen fitosanitario o de compuestos indeseables que se generan en el procesado, por lo que de acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.

El hecho de que no exista crecimiento de microorganismos patógenos es debido a la formación ácido láctico, bacteriocinas (producidas durante las fermentaciones coadyuva el efecto conservador) y a las buenas prácticas de laboratorio y de manufactura. Los resultados no son mostrados por razones obvias.

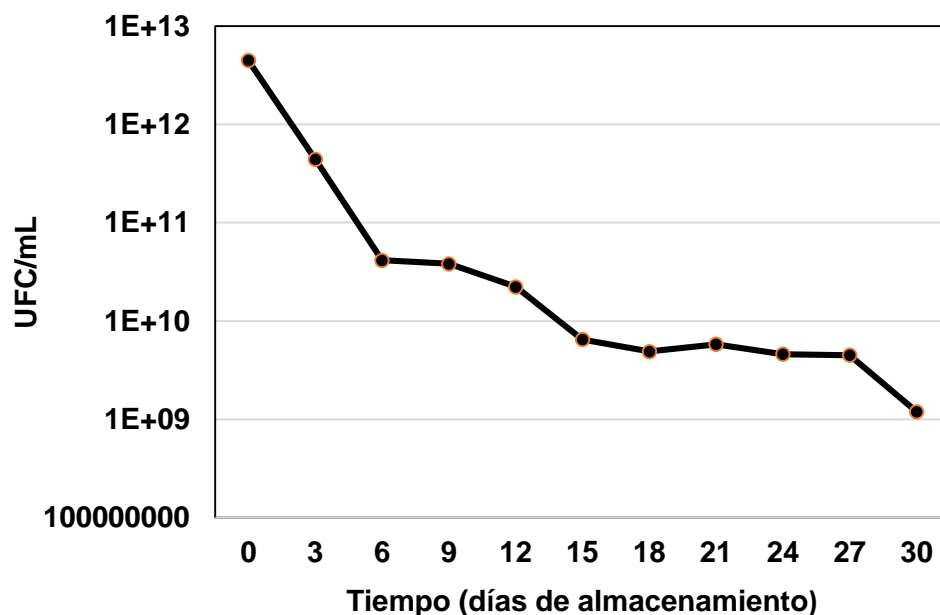
Así mismo existen reportes que indican que las fermentaciones son un método utilizado para la conservación de alimentos, debido a que inhiben el crecimiento de organismos patógenos (bacterias, levaduras, mohos, enterobacterias, bacilos o clostridios por mencionar algunos), por la producción de ácidos de tipo orgánico y por ende por la disminución del pH (Gobbetti et al., 2005).

#### 5.5. Recuento de Bacterias Ácido Lácticas

El gluten, la proteína de trigo más relevante, al reducir la concentración de harina se redujo notablemente la viscosidad de la masa, sin embargo con la fermentación de la masa se logró aumentar esta característica, junto con el tiempo requerido en el reposo, durante el proceso de elaboración. Por lo tanto, las propiedades de textura no se ven afectadas, las tortillas nutacéuticas se mantienen durante varios días, comparadas con lo que se establece en el etiquetado comercial. Alargando la vida útil por la refrigeración, que produce un enlentecimiento de las reacciones enzimáticas y químicas, y por tanto una reducción de la multiplicación y el metabolismo de los microorganismos; los microorganismos pueden igualmente morir de forma progresiva cuando se encuentran a una temperatura baja, siguiendo normalmente un patrón logarítmico. Pero esta mortalidad es muy baja; se basa esencialmente en la inhibición de los microorganismos no en la destrucción (Jeantet et al., 2010).



En la **Gráfica 6**, se presenta las UFC/g de tortilla, donde se puede observar que a medida que transcurre el tiempo disminuye el contenido de BAL  $1 \times 10^{13}$  a  $1 \times 10^9$  UFC/g, sin embargo, es importante resaltar que pese a esta disminución después de 30 días de almacenamiento las tortillas conservan sus propiedades probióticas, esto pudiera estar relacionado con la termoresistencia de algunas cepas de bacterias ácido lácticas que les permite sobrevivir al tratamiento térmico, y por la fermentación de la masa siendo capaces las BAL de transformar los polisacáridos presentes de la harina de trigo, lo que favorece la vida útil del producto además de las características sensoriales.



**Gráfica 6.** Sobrevivencia de Bacterias Ácido Lácticas en función del tiempo de almacenamiento



## 5.6. Calidad sensorial. Evaluación hedónica

Para evaluar el impacto del producto de fermentación obtenido por la harina de trigo y gluten de hidrólisis operado por *L. plantarum*, *Lactobacillus casei shirota* y *Lactobacillus bulgaricus*, sobre las características sensoriales de la tortilla, se realizó un análisis sensorial. Los resultados se presentan en **Tabla 6**. La muestra de tortilla mostro puntuaciones muy altas, de 6 a 7 y fueron muy apreciados por los evaluadores. En particular, debido a que durante la fermentación de la masa se producen compuestos como, acetaldehído y diacetilo, citratos de ácidos orgánicos etc, los cuales son responsables del sabor y aroma agradables del producto final, así como, acidificación de la masa y la hidrólisis del almidón y proteólisis se forman carbohidratos de menor peso molecular, péptidos bioactivos, aminoácidos que se sabe que influyen positivamente en el sabor de acuerdo a (Gerrard et al., 2001), así como, mejora las características organolépticas, la textura, las propiedades nutritivas y funcionales en la tortilla y que algunos de éstos compuestos formados pueden convertirse en compuestos que mejoren el sabor del producto final (Hansen & Schieberle, 2005).

**Tabla 6.** Resultados del análisis sensorial a todos los panelistas, n=50

| <b>Parámetro sensorial</b> | <b>Tortilla de harina de trigo nutracéutica</b> |
|----------------------------|---|
| Textura                    | 7   |
| Color y apariencia         | 7   |
| Olor                       | 7   |
| Sabor                      | 7   |
| Sensación en la boca       | 6   |
| Aceptabilidad General      | 7   |





---

## 6. CONCLUSIONES

- Se logra tener un alimento simbiótico ya que combina los probióticos y prebióticos (fibras insolubles), para ayudar en el control de enfermedades y afecciones causadas por la desnutrición u obesidad. Además de sus propiedades nutricionales, este alimento tiene vida de anaquel favorable, dado por las BAL, principal fermentación.
- Puesto que, el valor nutricional de las proteínas de gluten es bastante pobre, se realiza la fermentación con bacterias ácido lácticas y levaduras, que tienen influencia positiva sobre la solubilidad en la masa, lo que permite una mejor distribución del agua cuando se somete la tortilla en el proceso de cocción a un menor tiempo; lo que reduce la pérdida de la humedad, aumentando el rendimiento; dado que el rendimiento de masa y tortilla depende principalmente de sus contenidos de humedad; y favorece a los microorganismos manteniéndolos viables después del tratamiento.
- En cuanto a las propiedades texturales, se obtuvieron tortillas resistentes a la ruptura y con alta rolabilidad, estas características se mantienen durante los días de almacenamiento.
- Las BAL confieren propiedades sensoriales favorables para el consumidor, quienes evaluaron con aceptabilidad el producto.
- El ácido fólico contenido en la tortilla puede ser benéfico para alcanzar a cubrir las necesidades diarias de esta vitamina en algunos grupos de la población, formando dietas balanceadas.
- Finalmente en este proyecto se formuló y elaboró un alimento fermentado nutracéutico que actualmente no existe en el mercado, con un alto valor nutrimental, libre de conservadores y estabilizadores, que puede ser almacenada sin pérdida de nutrimentos, fresca, sabor y aroma.

### Perspectivas

Se pretende que en investigaciones futuras, se pueda experimentar en personas con obesidad tanto en adultos como menores, y mujeres embarazadas, observando cambios en metabolismo y mejoras a nivel digestivo, así como comunidades lejanas sean beneficiadas con alimentos que aporten mayor contenido de nutrimentos mejorando la calidad de vida de muchas personas, ya que una de las consecuencias de una alimentación poco saludable, son patologías como diabetes, colesterol, entre otras.



---

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abushelaibi, A., Al-Mahadin, S., El-Tarabily, K., Shah, P.N. and Ayyash, M. (2017). Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *Food Science and Technology*, 79, 316-325.
2. Albalá-Hurtado, A.S., Veciana-Nogués, M.T., Izquierdo-Pulido, M. and Mariné-Font, A. (1997). Determination of water-soluble vitamins in infant milk by highperformance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 778, 247-253.
3. Álvarez, D., Delles, R.M., Xiong, Y.L., Castillo, M., Payne, F.A. and Laencia, J. (2011). Influence of canola-olive, rice bran and walnut on functionality and emulsion stability of frankfurters. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1435-1442.
4. Álvarez, L. (2001). Importancia del trigo. [http://members.tripod.com/lucrecia\\_alvarez/introduccion.htm](http://members.tripod.com/lucrecia_alvarez/introduccion.htm) (Consulta Agosto 23, 2018).
5. Anton-A., A., Lukow-M., O., Fulcher-G., R. and Arntfield-D., S. (2009). Shelf stability and sensory properties of flour tortillas fortified with pinto bean (*Phaseolus vulgaris L.*) flour: Effects of hydrocolloid addition. *Food Science and Technology*, 42, 23–29.
6. Anton, A.A., Lukow, M.O., Fulcher, G.R. and Arntfield, D.S. (2009). Shelf stability and sensory properties of flour tortillas fortified with pinto bean (*Phaseolus vulgaris L.*) flour: Effects of hydrocolloid addition. *Food Science and Technology*, 42, 23–29.
7. Aranceta, Javier. Guía práctica sobre hábitos de alimentación y salud. Madrid: Instituto Omega 3, SENC, 2002.
8. AOAC (2005). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
9. Augustin-Mary, A. and Maree-Oliver, C. (2014). Use of milk Proteins for Encapsulation of Food Ingredients. (211-226). En *Microencapsulation in the Food Industry. A practical Implementation Guide*. Australia.
10. Balcázar, M.B., Matínez, A.E. and González, O.M. (2003). Efecto de la administración oral de inulina sobre el perfil de lípidos y la sensibilidad a la insulina en individuos con obesidad y dislipidemia. *Rev. Méd. Chile* v.131 n.6.
11. Badui, S. 2006. *Química de los alimentos*. Pearson, México, 715 pp.
12. Baró, L., Jiménez, J., Martínez-Férez, A. and Bouza, J.J. (2001). *Bioactive milk peptides and proteins*. *Ars Pharmaceutica*, 42:3-4; 135-145.
13. Betancourt, S., Ayala, A., and Ramírez, A. (2014). Effect of the fermentation process with Lactic Acid Bacteria on rheological properties of QPM Dough. *Reología masa fermentada*, 503-511.
14. Biruete, G.A., Hernández, E.J., Ortega, E.S., Viruegas, R.R., and Barrita, J.S. (2009). Los nutracéuticos. Lo que es conveniente saber. *Revista Mexicana de Pediatría*. 76, 136-145.



15. Camacho-A., Giles-M., Ortigón-A., Palao-M., Serrano-B. and Velázquez-O. (2009). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. México: UNAM.
16. Chávez-Santoscoy, A.R., Gutiérrez-Urbe, A.J., Serna-Saldivar, S.O. and Perez-Carrillo E. (2016). Production of maize totillas and cookies from nixtamalized flour enriched with anthocyanins, flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris*) seed coats. *Food Chemistry*, 192, 90-97.
17. Clubbs, A.E., Vittadini, E., Shelhammer, H.T. and Vodovotz, Y. (2008). Effects of storage on the physico-chemical properties of corn tortillas prepared with glycerol and salt. *Journal of Cereal Science*. 47, 162-171.
18. De Arpe-Muñoz, C. (2003). Alimentos enriquecidos y fortificados. *Nutrición y Salud*. Comunidad de Madrid, Consejería de Salud, 44(216), 35-54.
19. De la Vega, G. (2009). Porcentaje de la harina de trigo: Clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología* 27-32.
20. De Prisco, A. and Mauriello, G. (2016). Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 27-39.
21. De Vuyst, L. and Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Food Science and Technology*, 16, 43-36.
22. FAO/ONU. (2006). Probióticos en los alimentos Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Sitio web: <http://www.fao.org/3/a-a0512s.pdf> (Consulta Octubre 24, 2016).
23. Fausto-Guerra, J., Valdez-López, R.M., Aldrete-Rodríguez, M. G., and López-Zermeño, M.C. (2006). Antecedentes históricos sociales de la obesidad en México. *Investigación en salud*. 8, 91-94.
24. Fernández-Luna, M. and Bárcenas-Pozos, M.E. (2011). *Envejecimiento del pan: causas y soluciones*. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5-2: 40-53.
25. Fernández-Palomares, R. (2013). Modulación de la microbiota intestinal: efecto de los prebióticos y probióticos en la prevención y tratamiento del Síndrome metabólico. Universitat Oberta de Catalunya. <http://hdl.handle.net/10609/20161> (Consulta Mayo 16, 2017).
26. Ferreira-Montero, I.J. and Luengo-Fernández, E. (2007). La dieta como concepto terapéutico. Conceptos de alimento funcional y de nutraceutico. Situación actual de los alimentos funcionales y nutraceuticos. Aspectos legales. Sociedad Española de Cardiología. Sitio web: <http://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf> (Consulta Mayo 13, 2017).
27. Font de Valdez, G., Rollán, G., Gerez, L.C. and Torino, I.M. (2011). Microbial applications in the biopreservation of cereal products. (348-363). En *Protective Cultures, Antimicrobial Metabolites and Bacteriophages for Food and Beverage Biopreservation*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Argentina.



- 
28. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Manual de capacitación. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/AB492S06.htm> (Consulta Julio 13, 2016).
  29. Gänzle, G.M., Vermeulen, N. and Vogel, F.R. (2007). Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food Microbiology*, 24, 128-138.
  30. García-Gabarra, A. (2006). Ingesta de Nutrientes: Conceptos y Recomendaciones Internacionales (1ª parte). *Nutrición Hospitalaria*. 3, 291-299.
  31. Gerez, L.C., Torino, I.M., Rollán, G. and Front de Valdez, G. (2009). Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food Control*, 20, 144-148.
  32. Gerrard, J.A., Fayle, S.E., Brown, P.A., Sutton, K.H., Simmons, L. and Rasiah, I. (2001). Effects of Microbial Transglutaminase on the Wheat Proteins of Bread and Croissant Dough. *Journal of Food Science*, 66, 782-786.
  33. Gobbetti, M., De Angelis, M., Corsetti, A. and Di Cagno, R. (2005). Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. *Food Science and Technology*, 16, 57-69.
  34. Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Science Technology*. 15, 330-347.
  35. Guarner, F., Khan, A.G., Garisch, J., Eliakim, R., Gangl, A., Thomson, A. (2017). World Gastroenterology Organization Global Guidelines: probiotics and prebiotics. World Gastroenterology Organization, 11, 1-36.
  36. Hansen, A. and Hansen, B. (1994). Influence of wheat flour type on the production of flavors compounds in wheat sourdoughs. *Journal of Cereal Science*. 19, 185-190.
  37. Hansen, A. and Schieberle, P. (2005). Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 85-94.
  38. Herrera, C.H., Bolaños, N. and Lutz, G. (2003). Manual de Laboratorio de Química en Alimentos. UCR. Costa Rica.
  39. Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G.R., Merenstein, D.J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R.B., Flint, H.J., Salminen, S., Calder, P.C., Sanders, M.E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatology*, 11, 506-414.
  40. Hyardin, A., Cuny, A. and Méjean, L. (2007). La fonctionnalité alimentaire: illusion aujourd'hui, réalité demain. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 146-152.
  41. Islam, S., Ma, W., Yan, G., Bekes, F. and Appels, R. (2012). Novel approaches to modifying wheat flour processing characteristics and health attributes: from genetics to food technology. (259-295). En *Breadmaking*.



- Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Australia.
42. Jondiko, O.T. (2016). Prediction of wheat tortilla quality using multivariate modeling of Kernel, flour, and dough properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34, 9-15.
  43. Juárez, Z., Bárcenas, M., Hernández L. El grano de trigo; características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. 79-82.
  44. Kuhn, K.R., Cavallieri, A.L. F. and Cunha, R.L. (2010). Cold-set whey proteins gels induced by calcium or sodium salt addition. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 348-357.
  45. Larsson, H. and Eliasson, A.C. (1996). Phase Separation of Wheat Flour Dough Studied by Ultracentrifugation and Stress Relaxation. II. Influence of Mixing Time, Ascorbic Acid, and Lipids. *Cereal Chemistry*, 73, 25-31.
  46. Létang, C., Piau, M., Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour-water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering*. 41, 121-132.
  47. Liria-Domínguez, M.R. (2007). Guía para la elaboración Sensorial de Alimentos. Centro Internacional de Agricultura Tropical Sitio web: <http://es.slideshare.net/evytaguevara/gua-para-la-evaluacin-sensorial-de-alimentos> (Consulta Septiembre 19, 2016).
  48. Liu, T., Hou, G.G., Cardin M., Marquart, L. and Dubat, A. (2017). Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *Food Science and Technology*, 77, 1-7.
  49. Márquez-Sillero, I., Cárdenas, S. and Valcárcel, M. (2013). Determination of water-soluble vitamins in infant milk and dietary supplement using a liquid chromatography on-line coupled to a corona-charged aerosol detector. *Journal of Chromatography A*, 1313, 253–258.
  50. Martínez, M.M and Gómez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*. 197, 78-86.
  51. Mesas, J.M. and Alegre, M.T. (2002). The bread and its processing. *Ciencia y Tecnología en Alimentos*, 3, 307-313.
  52. Messia, M.C., Reale, A., Maiuro, L., Candigliota, T., Sorrentino, E. and Marconi E. (2016). Effects of pre-fermented wheat bran on dough and bread characteristics. *Journal of Cereal Science*. 69, 138-144.
  53. Niness K.R. (1999). Inulin and oligofructose: What are they? *J Nutr*, 129: 1402S-6S.
  54. NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en Alimentos. Determination of pH in foods. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-317-S-1978.PDF> (Consulta Julio 4, 2016)
  55. NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de Humedad (Método rápido de la Termobalanza). Foods. Determination of Moisture (Thermobalance rapid Method). Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.





- 
- <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-428-1982.PDF> (Consulta Julio 24, 2016)
56. NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y Servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones Sanitarias. Información Comercial. Métodos de prueba. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/187ssa1scfi02.html>. (Consulta Julio 9, 2016).
  57. NORMA Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013). (Consulta Octubre 11, 2018).
  58. Pérez, L.H. (2006). Nutraceuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 40, 20-28.
  59. Pearson, D. (1986). Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Acribia, España, 331 pp.
  60. Pérez-Porto, J., and Gardey, A. Definición de nutrientes. <http://definicion.de/nutrientes/#ixzz4FG50NAsQ> (Consulta Julio 22, 2016).
  61. Potter-N, N. (1978). La ciencia de los Alimentos. Edutex, México, 684 pp.
  62. Ribeiro-Barros, F.A. (2009). Wheat flour tortilla: quality prediction and study of physical and textural changes during storage. Tesis de Maestría en Ciencias. Texas A & M University, USA, 186 pp.
  63. Rivera-Dommarco, J. A., Cuevas-Nasu L., González-Cosío, T., Shamah-Levy, T., and García-Feregrino, R. (2013). Desnutrición crónica en México en el último cuarto de siglo. Salud pública de México. 55, 161-169.
  64. Rivera-Dommarco, J.A., Cuevas-Nasu, L., González-Cossio, T., and Shamah-Levy, T. (2012). Desnutrición en México: intervenciones hacia su erradicación. ENSANUT. México.
  65. Romain-J., Thomas-C., Pierre-S., Gérard-B. (2010). Ciencia de los Alimentos. Bioquímica-Microbiología-Procesos-Productos. Acribia, España, 496 pp.
  66. Romee, J., Saxena, C.D. and Sukhcharn, S. (2016). Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of *Chenopodium album* starch. *Food Science and Technology*, 66, 267-274.
  67. Rooney-L., W. and Serna-Saldivar O.S. (2015). Nutrition and Fortification of Corn and Wheat Tortillas. (29-63). En Elsevier Inc. and AACC International. Tortillas Wheat Flour and Corn Products. Elsevier. USA.
  68. Russo, M., Elichalt, M., Vázquez, D., Suburú, G., Tihista, H., and Godiño, M. (2014). Fortificación de harina de trigo con ácido fólico y hierro en Uruguay; implicancias en la nutrición. *Rev Chil Nutr*, 41, 399-403.
  69. SAGARPA/Comité Nacional Sistema-Producción Oleaginosas A.C. (2015). Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para
-



- el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional, 256 pp.
70. SAGARPA. Rendimiento en producción de trigo en México. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/diciembre/Documents/JAC0516-28.PDF> (Consulta Diciembre 10, 2017).
  71. SAGARPA. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. Panorama Agroalimentario. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama\\_Agroalimentario\\_Trigo\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf), (Consulta Enero 26, 2018).
  72. SAGARPA. El cultivo del Trigo. <http://www.oeidrusbc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/EICultivoTrigo.pdf> (Consulta Septiembre 23, 2018).
  73. Salazar, R., Arámbula-Villa, G., Luna-Bárceñas, G., Figueroa-Cárdenas, D.J., Azuara, E. and Vázquez-Landaverde, P.A. (2014). Effect of added calcium hydroxide during corn nixtamalization on acrylamide content in tortilla chips. *LWT - Food Science and Technology*, 56, 87-92.
  74. Salgado-Nava, A.A. and Jimenez-Munguía, T.M. (2012). Métodos de control de crecimiento microbiano en el pan. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6-2: 160-172.
  75. Salinas-Moreno, Y. and Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de Maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Universidad Autónoma de Chapingo*, 2(1): 5-11.
  76. Sánchez-Castillo, C.P., Pichardo-Ontiveros, E., and López, R.P. (2004). Epidemiología de la obesidad. *Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición. Gaceta Médica de México*. 140, 161-169.
  77. Sánchez-García, R., Reyes-Morales, H. and González-Unzaga, M.A. (2014). Preferencias alimentarias y estado de nutrición en niños de la Ciudad de México. *Hospital Infantil de México*, 71(6), 358-366.
  78. Santana-Gálvez, J., Pérez-Carrillo, E., Velázquez-Reyes, H.H., Cisneros-Zevallos, L. and Jacobo-Velázquez, A.D. (2016). Application of wounding stress to produce a nutraceutical-rich carrot powder ingredient and its incorporation to nixtamalized corn flour tortillas. *Journal of Functional Foods*, 27, 655–666.
  79. Secretaría de Economía (SE). (2012). Análisis de la cadena de valor Maíz-Tortilla: situación actual y factores de competencia local. Dirección General de Industrias Básicas, 35 pp.
  80. Secretaría de Salud. (2013). Estrategia Nacional para la Prevención y el Control del Sobrepeso, la Obesidad y la Diabetes. México. IEPSA. México.
  81. Segovia-Arana, J.M. La alimentación y la nutrición en el siglo XXI. Madrid: Fundación de estudios y formación sanitaria, 2001, 27-49.
  82. Serna-Saldivar, S.O., Rooney, L.W. and Waniska, R.D. (1988). Wheat flour tortilla production. *Cereal Foods World*. 33, 855-864.
  83. Serrano-Morano, L. and Lezcano-Martín, C. (2005). El aceite: valor nutritivo. *Nutrición y Salud*, 7, 25-47.



- 
84. Skoog-A., N.D., Donald, M. D., Holler-James, F.-Crouch, R.S. (2000). *Química Analítica*. McGraw-Hill, México, 472 pp.
  85. Snyder R. L., Kirkland J. J. and Dolan W. J. (2009). *Introduction to Modern Liquid Chromatography*. John Wiley & Sons, USA, 960 pp.
  86. Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC). (2003). *Guía de Alimentos Funcionales*. Sitio web: [http://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/guia\\_alimentos\\_funcionales.pdf](http://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/guia_alimentos_funcionales.pdf). (Consulta Mayo 13, 2017).
  87. Souza, C.A., Benze, R., Ferrão, S.E., Ditchfield, C., Coelho-V., C. A. and Tadini C.C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *Food Science and Technology*, 46, 110-117.
  88. SSA. (2003). El Ácido Fólico y la prevención de defectos en el nacimiento. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/ACIDOFOLICO.pdf> (Consulta Mayo 15, 2017).
  89. Struyf, N., Laurent, J., Lefevere, B., Verspreet, J., Verstrepen, J. K. and Courtin, M.C. (2017). Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations. *Food Chemistry*, 218, 89-98.
  90. Suhendro, L. E., Almeida-Dominguez, H.D., Rooney, L.W. and Waniska, R.D. (1998). Objective Rollability Method for Corn Tortilla Texture Measurement. *Cereal Chemistry*, 75 (3), 320-324.
  91. Thiele, C., Grassl, S., and Gänzle, M.G. (2004). Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 82, 677-682.
  92. Urrialde de Andrés, R. (2006). Las grasas en nuestra dieta ácidos grasos omega 3. *Nutrición Hospitalaria*. 21(3), 56-69.
  93. USDA Foreign Agricultural Service. (2014). Grain and Feed Annual, Gain report number.
  94. Valerio, F., Conte, A., Di Biase, M., Lattanzio, T. V. M., Lonigro, S.L., Padalino, L., Pontonio, E. and Lavermicocca, P. (2017). Formulation of yeast-leavened bread with reduced salt content by using a *Lactobacillus plantarum* fermentation product. *Food Chemistry*, 221, 582-589.
  95. Vázquez, C.G., Pérez, J. (2010). Quality of grain and tortilla made with local Maize Landraces from the high Valleys and the Valley of Mezquital, México. *Fitotec*, 49-56.
  96. Weichselbaum, E. (2009). Probiotics and health: A review of the evidence. *Nutrition Bulletin*, 34(4), 340-373.
  97. Yang, N., Luan, J., Ashton, J., Gorczyca, E. and Kasapis, S. (2014). Effect of calcium chloride on the structure and *in vitro* hydrolysis of heat induced whey protein and wheat starch composite gels. *Food Hydrocolloids*, 42, 260-268.





- 
98. Youn-Yoo, J., and Soo-Kim, S. (2016). Probiotics and Prebiotics: Present Status and Future Perspectives on Metabolic Disorders. *Department of Biomedical Science*. 8(3), 173-194.