

# **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



## **EVALUACION DE VIDA DE UTIL EN DIFERENTES EMPAQUES Y TIPOS DE ALAMCENAMIENTO DE TORTILLAS DE MAIZ (*Zea mays*) MODIFICADAS MEDIANTE UNA GERMINACION PREVIA A LA NIXTAMALIZACION**

Por:

**GUSTAVO ALFONSO AGUILERA BURCIAGA.**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional en:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

MARZO 2015

BUENAVISTA, SALTILLO COAHULA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

EVALUACION DE VIDA UTIL EN DIFERENTES EMPAQUES Y TIPOS DE  
ALAMCENAMIENTO DE TORTILLAS DE MAIZ (*Zea mays*) MODIFICADAS MEDIANTE  
UNA GERMINACION PREVIA A LA NIXTAMALIZACION

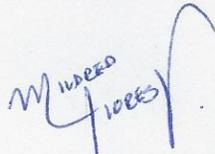
Por: Gustavo Alfonso Aguilera Burciaga.

TESIS

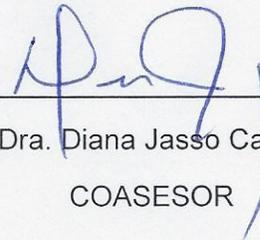
QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

A P R O B A D A P O R:



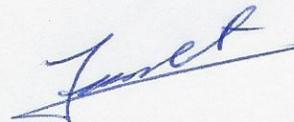
M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui  
ASESOR PRINCIPAL



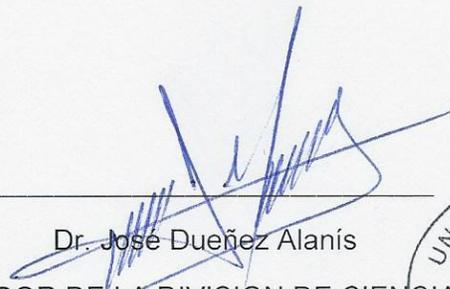
Dra. Diana Jasso Cantú  
COASESOR



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez  
COASESOR



M.C. Sergio Sánchez Martínez  
COASESOR



Dr. José Dueñez Alanís  
COORDINADOR DE LA DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

Buenvista Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2015



## AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA MATER, UAAAN**, que en parte gracias a ésta el día de hoy me puedo presumir como un Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos que espera llevar en alto el nombre de la misma, a la calidez que conocí dentro de sus instalaciones por medio del personal y de mis compañeros que a bien o mal contribuyeron a ser quien el día de hoy soy.

Al **DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, no solo agradezco a los maestro de dicho departamento, de los cuales solo unos pocos realmente se interesaron por mi educación y no solo por formarme académicamente sino también por formar a una persona cuyos valores fuesen de acuerdo a esta institución, también agradezco a todas las personas laboratoristas, secretarias etc. que de alguna forma contribuyeron con el simple hecho de estar ahí, con una sonrisa o atenderme en el momento que yo lo solicitaba.

A la **M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui**, quien me demostró que todavía se puede confiar en ciertas personas, por ser mi asesora y demostrarme que no me equivoqué al escogerla ya que me demostró ser un excelente ser humano, por demostrarme respeto y tenerme la confianza que me demostró en más de una ocasión, por importarse no solo por mi formación académica, por sus consejos y su paciencia Muchas Gracias.

Al **M.C. Sergio Sánchez Martínez** por su colaboración en la elaboración de esta tesis, por el tiempo prestado y el respeto con el que me trató, por su disponibilidad en proporcionarme su ayuda.

A todas aquellas personas no solo del Departamento De Ciencia Y Tecnología De Alimentos, **Maestros, Laboratoristas, Personal Administrativo y Compañeros**, principalmente a Rocío Urrea González, Karla Valeria González Zepeda, María de la Luz Peoples Onofre, Claudia Judith Ramos de Luna, Juan Carlos Campos y Paola Michelle Martínez Puente, que de cierta forma se interesaron por mi formación y alguna vez me tendieron la mano cuando lo necesité.

## DEDICATORIA

Con gran respeto y admiración dedico esta tesis a mi madre, la **Sra. Angélica Inés Burciaga Vera**, que es el ser más maravilloso de todo el mundo, gracias por el apoyo moral, tu cariño y comprensión que desde pequeño me has brindado, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más difíciles, por ser mi sostén, mi fuerza, mi ejemplo a seguir y por enseñarme a nunca rendirme, no me cansaré de dar gracias a Dios por ponerme en tu camino, por aguantarme y darme lo que necesitaba y lo que no necesitaba, a fin de cuentas “a los ojos de un hijo una madre es Dios”.

Con amor, admiración y respeto.

A mis tíos Raquel Burciaga Vera, Aida Burciaga Vera, Gustavo Alfonso Burciaga Vera, Norma Eleuteria Burciaga Vera y Alfonso Burciaga Vera por apoyarme en mi educación, por enseñarme a trabajar y demostrarme que no se necesita estar cerca para estar conmigo, porque en mí llevo parte de ellos, por ser pilares importantes en mi crianza, aunque muchas veces no lo demostraban, siempre sentí su cariño. Muchas Gracias.

A mis Hermanos José Manuel, Angélica Ivonne y José Alberto Aguilera Burciaga por las peleas, discusiones, por estar conmigo en las buenas y las malas, por apoyarme, por su cariño.

A mis Primos + Guadalupe del Rocío y Gabriel Burciaga García, Samantha Gabriela y Karla del Rosario Burciaga Saucedo, por enseñarme la lealtad, por escoger vivir la vida muy aprisa conmigo, por el amor que me demuestran y enseñarme tantas cosas aun siendo unos niños.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado. Les agradezco a todos con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero y nunca los olvidaré.

**Gustavo Alfonso Aguilera Burciaga.**

*"Pies para que los quiere, si tengo alas para volar"*

*-Frida Kahlo*

|  |            |
|--|------------|
| <b>INDICE DE CONTENIDO</b>                               |            |
| <b>AGRADECIMIENTOS.....</b>                              | <b>iii</b> |
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                 | <b>iv</b>  |
| <b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>                          | <b>vi</b>  |
| <b>INDICE DE FIGURAS.....</b>                            | <b>ix</b>  |
| <b>INDICE DE CUADROS .....</b>                           | <b>xi</b>  |
| <b>Resumen.....</b>                                      | <b>xii</b> |
| <b>CAPITULO 1 .....</b>                                  | <b>1</b>   |
| <b>1 Introducción.....</b>                               | <b>1</b>   |
| <b>1.2 Justificación.....</b>                            | <b>3</b>   |
| <b>1.3 Hipótesis. ....</b>                               | <b>4</b>   |
| <b>1.4 Objetivos. ....</b>                               | <b>4</b>   |
| <b>1.4.1 Objetivo general.....</b>                       | <b>4</b>   |
| <b>1.4.2 Objetivos específicos. ....</b>                 | <b>4</b>   |
| <b>CAPITULO 2.....</b>                                   | <b>5</b>   |
| <b>2. Marco teórico. ....</b>                            | <b>5</b>   |
| <b>2.1 Vida útil.....</b>                                | <b>5</b>   |
| <b>2.2 Maíz.....</b>                                     | <b>6</b>   |
| <b>2.2.1 Morfología del grano.....</b>                   | <b>6</b>   |
| <b>2.2.2 Almidón. ....</b>                               | <b>8</b>   |
| <b>2.3 Producción y consumo de maíz en México.....</b>   | <b>9</b>   |
| <b>2.4 Nixtamalización. ....</b>                         | <b>9</b>   |
| <b>2.5 Germinación.....</b>                              | <b>11</b>  |
| <b>2.5.1 Movilización de sustancias de reserva. ....</b> | <b>12</b>  |
| <b>2.6 Empaque. ....</b>                                 | <b>12</b>  |
| <b>CAPITULO 3.....</b>                                   | <b>13</b>  |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1 Localización.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>3.2 Material biológico.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>3.3 Material de laboratorio.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.4 Equipos y reactivos.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.4.1 Equipos.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.4.2 Reactivos.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>3.5 Método experimental.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>3.6 Preparación de testigo.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3.7 Preparación de tortillas a base de maíz germinado.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>3.8 Determinación de almidón.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>3.8.1 Preparación de solución estándar de almidón.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>3.8.2 Preparación de la solución stock.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>3.8.3 Elaboración de curva de calibración para almidón.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>3.9 Determinación de características físicas.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3.9.4 Diseño estadístico.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>CAPITULO 4.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>4. Resultados y discusiones.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>4.1.2 Color.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>4.1.2.1 Colorimetrías de tortillas día 0.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>4.1.2.2 Luminosidad en tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar almacenadas durante 12 días.....</b> | <b>31</b> |
| <b>4.1.2.3 Comparativo durante 12 días de la saturación de color.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>4.1.3 Fluctuación de peso en tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar durante 12 días.....</b>       | <b>36</b> |
| <b>4.1.4 Firmeza.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.1.4.1 Día 0.....</b>   | <b>39</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1.4.2 Día 2.....                             | 39        |
| 4.1.4.3 Día 4.....                             | 40        |
| <b>4.1.5 Humedad.....</b>                      | <b>43</b> |
| 4.1.5.1 Día 0.....                             | 43        |
| 4.1.5.2 Día 2.....                             | 44        |
| 4.1.5.3 Día 4.....                             | 44        |
| <b>4.1.6 Presencia de microorganismos.....</b> | <b>44</b> |
| <b>CAPITULO 5.....</b>                         | <b>48</b> |
| 5. Conclusiones.....                           | 48        |
| <b>CAPITULO 6.....</b>                         | <b>49</b> |
| <b>6. Bibliografía.....</b>                    | <b>49</b> |
| <b>CAPITULO 7.....</b>                         | <b>52</b> |
| <b>7. Anexos.....</b>                          | <b>52</b> |
| Anexo 1.....                                   | 52        |
| Anexo 2.....                                   | 54        |
| Anexo 3.....                                   | 56        |
| Anexo 4.....                                   | 57        |
| Anexo 5.....                                   | 59        |
| Anexo 6.....                                   | 61        |
| Anexo 7.....                                   | 62        |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. Grano de maíz y sus partes (Bressani, R. 1990) .....   | 7  |
| FIGURA 2 Patrón trifásico de germinación del grano de maíz.....  | 11 |
| Figura 3. Ubicación Saltillo Coahuila                      Figura 4. Ubicación UAAAN.....  | 14 |
| Figura 5. Ubicación de laboratorios del D.C.T.A .....  | 14 |
| Figura 6. Ubicación del mercado de abastos .....   | 15 |
| Figura 7. Método experimental .....  | 17 |
| FIGURA 8. Nixtamalización del grano .....  | 18 |
| FIGURA 9. Molienda del grano y prelación de la masa.....   | 18 |
| FIGURA 10. Elaboración de tortilla y envasado .....  | 19 |
| FIGURA 11. Preparación y germinación del grano .....   | 20 |
| FIGURA 12. Nixtamalización de grano germinado y elaboración de tortilla  | 20 |
| FIGURA 13. Preparación de solución de almidón de concentración conocida<br>.....   | 21 |
| FIGURA 14. Preparación de solución stock de yodo.....  | 22 |
| FIGURA 15. Fórmula para obtener el contenido de almidón.....   | 23 |
| FIGURA 16. Determinación de humedad.....   | 24 |
| FIGURA 17. Determinación de color.....   | 25 |
| FIGURA 18. Determinación de firmeza con penetrómetro Extech FHT200 ...   | 26 |
| FIGURA 19. Fórmula para obtención de área de punzada.....  | 26 |
| FIGURA 20. Comparación de L* (luminosidad) en tortillas elaboradas con<br>maíz germinado y sin germinar en el día 0 de los diferentes tratamientos ... | 29 |
| FIGURA 21. Factores a* y b* de colorimetría en el día 0 de los diferentes<br>tratamientos.....   | 30 |
| FIGURA 22. Modificación de la luminosidad (L*) en el periodo de evaluación<br>.....  | 32 |
| FIGURA 23. Modificación de luminosidad (L*) en los tratamientos cuyo<br>común denominador es el envasado en papel.....                                 | 34 |
| FIGURA 24. Modificación en la saturación de color en los 12 días, de tortillas<br>sometidas a diferentes condiciones de envase y almacenamiento .....  | 35 |
| FIGURA 25. Fluctuación en peso de tortillas envasadas en plástico<br>sometidas a diferentes condiciones de almacenamiento .....                        | 37 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>FIGURA 26. Fluctuación en peso de tortillas envasadas en papel sometidas a diferentes condiciones de almacenamiento .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>FIGURA 27. Tipo de cristal formado durante la retrogradación de almidón (Marsh, 1986) .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>FIGURA 28. Cristalización de los geles de almidón formados en tortilla de maíz germinado y nixtamalizado, elaboradas en esta investigación .....</b>                   | <b>42</b> |
| <b>FIGURA 29 Fibrosidades provenientes del germen en la tortilla elaborada en la presente investigación .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>FIGURA 30. Imágenes macroscópicas de hongos que se presentaron en las tortillas elaboradas con maíz sin germinar envasadas en plástico a temperatura ambiente.....</b> | <b>46</b> |
| <b>FIGURA 31 Incremento de 640x480 .....</b>  | <b>46</b> |
| <b>FIGURA 32. Imágenes microscópicas de hongos que se presentaron en tortillas elaboradas con maíz germinado almacenadas en papel a temperatura ambiente .....</b>        | <b>47</b> |

## **INDICE DE CUADROS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CUADRO 1. Curva de calibración de almidon .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>CUADRO 2. Colorimetría en tortilla de los diferentes tratamientos en el día 0 .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>CUADRO 3. Lecturas para luminosidad (L*) de las tortillas sometidas a diferentes tratamientos de almacenamiento por 12 días.....</b> | <b>31</b> |
| <b>CUADRO 4. Modificación del factor (L*) en los tratamientos cuyo común denominador es el envasado en papel .....</b>                  | <b>33</b> |
| <b>CUADRO 5. Peso registrado en las tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar empacadas en papel.....</b>                  | <b>37</b> |
| <b>CUADRO 6. Días en que se detectó la presencia de microorganismos .....</b>   | <b>45</b> |

## **Resumen.**

En la presente investigación se analiza la vida útil para consumo humano de la tortilla elaborada a base de maíz, tomando en cuenta la importancia histórica y su posición en la canasta básica de la población mexicana así como sus antecedentes, los cuales se remontan a épocas precoloniales en diferentes culturas mesoamericanas; es imposible desarraigar el consumo de este producto de la cultura del pueblo mexicano, de igual forma es irreal creer que se puede concientizar a la población sobre las porciones adecuadas de consumo en tortillas. De lo anterior surge la idea de elaborar tortillas reducidas en carbohidratos tomando en cuenta la tendencia que marca el mercado regresando a lo natural, sin aditivos ni conservadores, ofreciendo el plus de extender las características óptimas para consumo. Se tomó en cuenta la transformación de sustancias que se lleva a cabo en la germinación de la semilla y se decidió experimentar reduciendo hasta casi un 70% de almidón.

El proceso experimental consistió en la elaboración de tortillas de maíz con granos germinados y sin germinar, con el fin de obtener un comparativo entre ambos procesos, posteriormente se nixtamalizó y se dispuso a las tortillas generadas en diferentes envases y bajo diferentes circunstancias de almacenamiento; en el momento de la elaboración se evaluó la concentración de almidón por espectrofotometría, las condiciones de almacenamiento fueron las siguientes: tortillas empacadas en plástico a medio ambiente y en refrigeración, tortillas empacadas en papel a medio ambiente y refrigeración, las lecturas fueron tomadas cada tercer día y se evaluaron: color, firmeza, humedad y la presencia de microorganismos, tomando en cuenta que en conjunto afectan la calidad apta para consumo.

De acuerdo a los datos recabados en el tiempo de experimentación se puede concluir, que efectivamente las tortillas elaboradas con maíz germinado tienen una mayor vida útil de almacenamiento, con características que las hacen adecuadas para consumo humano que las que fueron elaboradas con maíz sin germinar, lo anterior puede atribuirse a la presencia de fibrosidades provenientes del grano germinado, las cuales ayudan a la retención de humedad, que es vital para evitar la cristalización de los geles de almidón impidiendo así que aumente la firmeza en las tortillas y la concentración de pigmentos que deriva en la modificación del color, conservando así por más tiempo las características aptas para consumo. De los tratamientos antes mencionados se demostró en esta investigación, que las tortillas elaboradas con maíz germinado, empacadas en plástico y sometidas a refrigeración como almacenamiento, conservaron por mayor tiempo las cualidades adecuadas para su consumo.

**Palabras clave:** tortillas, vida de anaquel, plástico, germinación, nixtamalización

Correo electrónico: Gustavo Alfonso aguilera burciaga, [gaab\\_1988@outlook.com](mailto:gaab_1988@outlook.com)

## **CAPITULO 1**

### **1 Introducción.**

La vida útil es detonante para el nivel de producción de una empresa de alimentos, además que en ésta se establece la pérdida de las características del alimento hasta que sus cualidades organolépticas no sean del agrado para los consumidores, o hasta que se presenten circunstancias tales como una firmeza inadecuada, una pérdida de humedad excesiva, el crecimiento de microorganismos, etcétera.

En la actualidad debido a la necesidad de aumentar la vida de anaquel se agregan aditivos químicos que en ciertos casos desmerecen las cualidades organolépticas a fin de extender la vida útil de los productos. Es por esto que la tendencia del mercado va dirigida al consumo de productos cada vez más naturales sin la adición de sustancias químicas.

La vida útil es un período en el cual, bajo circunstancias definidas, se produce una tolerable disminución de la calidad del producto. La calidad engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a inocuidad. En el instante en que alguno de estos parámetros se considera como inaceptable el producto ha llegado al fin de su vida útil (Singh, 2000 citado por Saavedra, 2009).

El instituto de tecnología en alimentos (IFT) de los Estados Unidos de Norteamérica, define la vida en anaquel de un producto como: el período entre la manufactura y venta al por menor de un producto alimenticio durante el cual el producto tiene una calidad satisfactoria (Dethmers, 1979 citado por Saavedra, 2009).

Debido a la situación actual del país, en la que se han ocupado los primeros lugares en obesidad a nivel mundial, a la abundancia de alimentos chatarra y la escasez de productos reducidos en carbohidratos siguiendo una tendencia a lo natural como lo marca el mercado y como alternativa a esta problemática siendo la tortilla uno de los principales alimentos del pueblo Mexicano, se originó la idea de la formulación de tortillas modificadas mediante la germinación del maíz previa a la nixtamalización, esto con el fin de reducir el contenido de almidón en las antes mencionadas y favorecer la accesibilidad de proteína de alta calidad sin la necesidad de aditivos.

Si bien no lograr que se mejore la calidad alimenticia por lo menos contribuir a ella, llevando ideas al mercado para poder ofrecer mayor variedad de productos para diversos nichos que en la actualidad han ido en aumento, porque el no tener tiempo de preparar alimentos sanos no es pretexto para no poder conseguirlos en el mercado.

La tortilla en México ocupa un lugar principal de la dieta en los niveles socioeconómicos de medio alto a bajo, de ahí la importancia de mantener las características de la misma por el mayor tiempo posible, para esto en la actualidad se emplea el uso de dos empaques como lo son diferentes tipos de papel y plástico, teniendo cada uno diferentes cualidades y defectos que ayudan a mantener o no las características del producto como tal, por ende los precios de cada tipo de empaque varían afectando directamente el precio del producto.

Pero como se ha mencionado antes, la vida útil no termina en el momento en que el producto llega a manos del consumidor, más bien hasta que éste pierde las características que el consumidor exige. Por ello se tomaron en cuenta las dos condiciones de almacenaje acostumbradas en México que son la refrigeración con un rango de  $0.5^{\circ}\text{C}$  como mínimo y un máximo de  $8^{\circ}\text{C}$  y la temperatura ambiente la cual varía dependiendo del lugar y la altura sobre el

nivel del mar, la cual fue en promedio de 21°C en este proyecto de investigación.

## **1.2 Justificación.**

En la actualidad la tortilla forma parte importante en la dieta de la población en México, según cifras de la Organización Mundial de la Alimentación, FAO, el 45 por ciento del consumo nacional de calorías proviene de alimentos derivados del maíz. México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, pues se estima que es consumida por el 94 por ciento de la población, por lo que el volumen de producción y consumo es cercano a los 22 millones de toneladas de tortillas al año, de ahí ofrecer productos con mayor vida útil para abaratar los costos disminuyendo la merma del producto, hablándose en el sector empresarial; en el hogar se busca sea posible que bajo ciertas condiciones de almacenamiento ofrecer a las personas el consumo de un alimento bajo en carbohidratos y con una mejor calidad proteica sin conservadores y con una vida útil mayor que las que actualmente se encuentran en el mercado, siguiendo la tendencia actual del consumo de productos sin conservadores o aditivos regresando a lo natural.

Se espera poder ofrecer una alternativa que permita a las empresas y al hogar de las poblaciones en México tener productos de mayor calidad en cuanto a su aporte nutricional y durabilidad de los mismos, debido a la situación actual del país, tomando en cuenta los altos niveles de obesidad y las enfermedades que esto conlleva, si bien no ofrecer un producto sin carbohidratos bien uno reducido en los mismos además de ayudar en la economía de los hogares mexicanos.

La importancia del análisis de vida útil a tiempo real de la tortilla reducida en carbohidratos por medio de la germinación previa a la nixtamalización, es comprobar que en realidad este proceso ofrezca extender por más tiempo la vida útil de las antes mencionadas ya que al disminuir la cantidad de carbohidratos, se espera sean menos propensas al ataque de microorganismos

### **1.3 Hipótesis.**

Las tortillas elaboradas con maíz sometido a una germinación previa a la nixtamalización presentan mejores cualidades aumentando la vida útil con respecto a las tortillas que no fueron sometidas a este tratamiento.

### **1.4 Objetivos.**

#### **1.4.1 Objetivo general.**

Evaluar las características físicas de las tortillas elaboradas con maíz sometido a una germinación previa a la nixtamalización, sometidas a diferentes temperaturas en diferente envase, para así identificar el mejor tratamiento.

#### **1.4.2 Objetivos específicos.**

- Obtener tortillas que alcancen bajos contenidos de almidón.
- Almacenar en dos 2 tipos de envase (papel y plástico) a dos temperaturas: medio ambiente (18.47°C) y refrigeración(3.125°C).
- Evaluar las características físicas tales como: firmeza, humedad y color de las tortillas cada 48 horas hasta que las cualidades organolépticas no sean aptas para consumo o exista la aparición de microorganismos.

## **CAPITULO 2**

### **2. Marco teórico.**

#### **2.1 Vida útil.**

Raham M.S. y Labuza T.P. (1999), indican que esencialmente, la vida útil de un alimento, es decir, el período que retendrá un nivel aceptable de su calidad alimenticia desde el punto de vista de la seguridad y del aspecto organoléptico, depende de cuatro factores principales; la formulación, el procesado, el empaçado y las condiciones de almacenamiento.

La vida útil del alimento está basada en la pérdida de las características propias del mismo, lo que desmerece su calidad e inocuidad, es decir cuando el alimento ya no cuenta con la firmeza, color, olor y sabor, siendo éste último uno de los más importantes. Debido a la gran variedad de necesidades de los diferentes nichos de mercado es casi imposible definir o dar parámetros para la vida de anaquel, que sean desagradables para cierto sector del mercado y que para otros sea el adecuado.

Desde el punto de vista sensorial se define como el momento desde el envasado hasta que el alimento pierde su aceptabilidad ante el consumidor bajo ciertas condiciones ambientales (Ellis G. 1996), la aceptación del consumidor puede verse influenciada por las características físicas tanto como por contaminación microbiana de dicho alimento, lo cual podría significar un riesgo para la salud del mismo. En el caso de que las cualidades físicas del producto ya no sean aptas, es decir que sean rechazadas por el consumidor la única metodología de análisis es la evolución sensorial ya que no existen

metodologías instrumentales o químicas que replacen adecuadamente nuestros sentidos (Warner M. 1997).

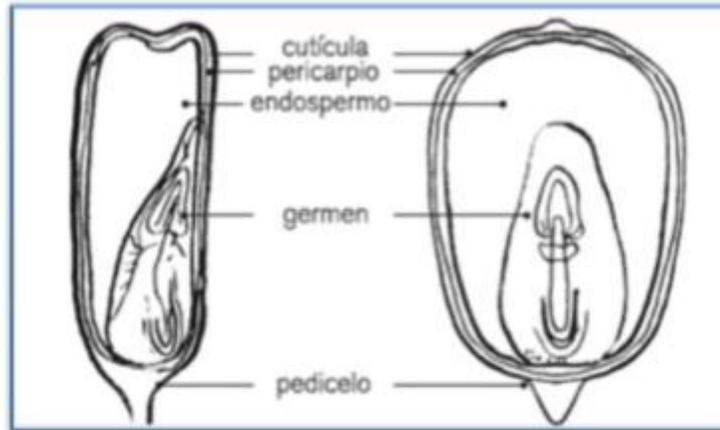
## **2.2 Maíz.**

El maíz es uno de los alimentos más comunes e importantes para el pueblo mexicano, ya que representa la principal fuente de carbohidratos y proteína, desde su origen ha representado la base de la alimentación para los sectores de bajos recursos. Su origen es polémico ya que al no haber formas silvestres de la misma es difícil suponerlo (Jugenheimer W.R. 1981), a diferencia de especies europeas como la cebada y el trigo de los cuales se tiene parientes silvestres de los cuales se puede suponer un origen.

El contenido nutrimental del maíz es diferente de acuerdo a la variedad, las condiciones ambientales y de siembra (Paredes L. *et. al.*,2009) pero básicamente el maíz contiene 10% de proteína, gran parte presente el germen y 72% de almidón, presente en su mayoría en el endospermo.

### **2.2.1 Morfología del grano.**

La semilla del maíz está compuesta principalmente de cuatro partes anatómicas que se presentan en la Figura 1 y se describen posteriormente.



**FIGURA 1. Grano de maíz y sus partes (Bressani, R. 1990)**

- a) Pericarpio: Ésta es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio representa del 5 al 6 por ciento de peso seco del grano y todas sus capas están compuestas de células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares. (Watson A.S. y Ramstad, E.D 1987).
  
- b) Pedicelo: Representa aproximadamente el 0.8 por ciento del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote. Está compuesto de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. (Jackson D.S – Rooney, 1988).
  
- c) Endospermo: Está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5-30  $\mu$  embebidos en una unión continua de proteínas. El almidón del endospermo es de dos tipos: harinoso y córneo (Watson Ramstad, 1987), además está formado por una capa celular llamada aleurona, lugar donde residen enzimas hidrolíticas (Gómez, 1993).

El endospermo harinoso rodea la hendidura central y es ligeramente opaco. Watson y Ramstad (1987), explicaron que la opacidad del endospermo harinoso puede ser debido a la refracción de la luz de la minuciosa capa de aire alrededor de los gránulos de almidón, los cuales resaltan del desgarre de la unión de la proteína durante el secado, por otra parte en el endospermo córneo, la unión de proteína es espesa y permanece intacta con el secado. Durante el secado, los gránulos de almidón son gelatinizados en el endospermo córneo y son comprimidos. (Watson y Shandera, 1988).

- d) Germen: Está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como un órgano nutritivo del embrión. El germen es el mejor depósito de lípidos, el cual contiene un 83 por ciento del total del grano. La proteína que contiene el germen del grano de maíz (glutelina y globulina) es de buena calidad y su contribución a la proteína del grano entero es en promedio de 15 por ciento. (Watson y Ramstad, 1987).

### **2.2.2 Almidón.**

El almidón es la sustancia que emplean todas las plantas como reserva de carbohidratos para uso metabólico, para el embrión vegetal de las semillas para hibernación natural o para los períodos de sequía ( Smith, Jr L.O. y Cristol S.J. 1972).

Los gránulos de almidón de maíz miden de 12 a 25 micras y presentan una forma redonda o poligonal (Charley, 1991). Esta sustancia tiene la capacidad de absorber agua y formar geles, lo cual es altamente utilizado en la industria alimentaria. Pero una vez gelatinizado el gel comienza un proceso de reacomodo estructural del almidón que se conoce como retrogradación.

El almidón está formado por dos polisacáridos: la amilosa y amilopectina. La estructura consiste en unidades de glucosa, estos dos polisacáridos se encuentran radialmente distribuidos en capas concéntricas, formando una estructura rígida llamada gránulo. Estos gránulos son únicos y característicos para cada especie (Boussingault 1852). La retrogradación de almidón ocurre cuando las moléculas del mismo, gelatinizado, comienzan a reasociarse en una estructura ordenada, la cual bajo condiciones favorables generan una estructura cristalina, la cual se manifiesta por la formación de precipitados o geles y afecta la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Bailey y Rayas-Duarte, 1998)

### **2.3 Producción y consumo de maíz en México.**

En México según datos arrojados por SAGARPA en el año 2010 la producción de maíz fue de 23 millones de toneladas, produciendo el 2.7% de maíz en el mundo, ocupando el cuarto lugar de producción en el mundo después de Estados Unidos, China, y Brasil. El rendimiento total por hectárea es de 3.2 toneladas siendo el promedio mundial de 5.2 ton/ha.

Cada mexicano consume al año 123 kg de maíz al año, cifra muy superior al promedio de consumo mundial al año que es de 16.8 kg per cápita.

### **2.4 Nixtamalización.**

Este proceso le confiere cualidades extraordinarias al maíz debido a las reacciones químicas presentes en él y es indispensable para la producción de tortilla, principal alimento para el pueblo Mexicano desde hace más de 3500 años, “la composición química del grano de maíz y por ende su valor nutritivo, depende del genotipo de la variedad, el ambiente y las condiciones de siembra” (Paredes L. *et. al.*,2009) es decir que aun siendo la misma variedad

en diferentes lugares con diferente tipo de riego y siembra tendrá diferente contenido nutricional y características.

La palabra proviene de nixtamal, a su vez del náhuatl *nextli* (cenizas de cal) y *tamalli* (masa de maíz cocido) (Paredes L., Gabera L., Bello P., 2009) .El primer paso en la nixtamalización consiste en poner a cocer los granos de maíz en una solución alcalina a una temperatura cerca al punto de ebullición.

Tras la cocción, el maíz se deja inmerso en el caldo por cierto tiempo. La duración del tiempo de cocción y remojo varía según el tipo de maíz, las tradiciones locales y el tipo de alimento a preparar. Se le puede dejar cociéndose desde unos minutos hasta una hora, y remojando desde unos minutos hasta alrededor de un día.

Durante la cocción y el remojo, una serie de cambios químicos tienen lugar en los granos de maíz, debido a que los componentes de la membrana celular de los mismos, entre los cuales se incluyen hemicelulosa y pectina, son altamente solubles en soluciones alcalinas, los granos se suavizan y sus pericarpios se aflojan (Paredes L. *et. al.*, 2009), el grano se hidrata y absorbe calcio y potasio a lo largo de todo el proceso.

Los almidones se disuelven y gelatinizan, algunos se dispersan en el líquido. Se liberan ciertos productos químicos del germen que permiten que el grano cocido sea más fácil de triturar.

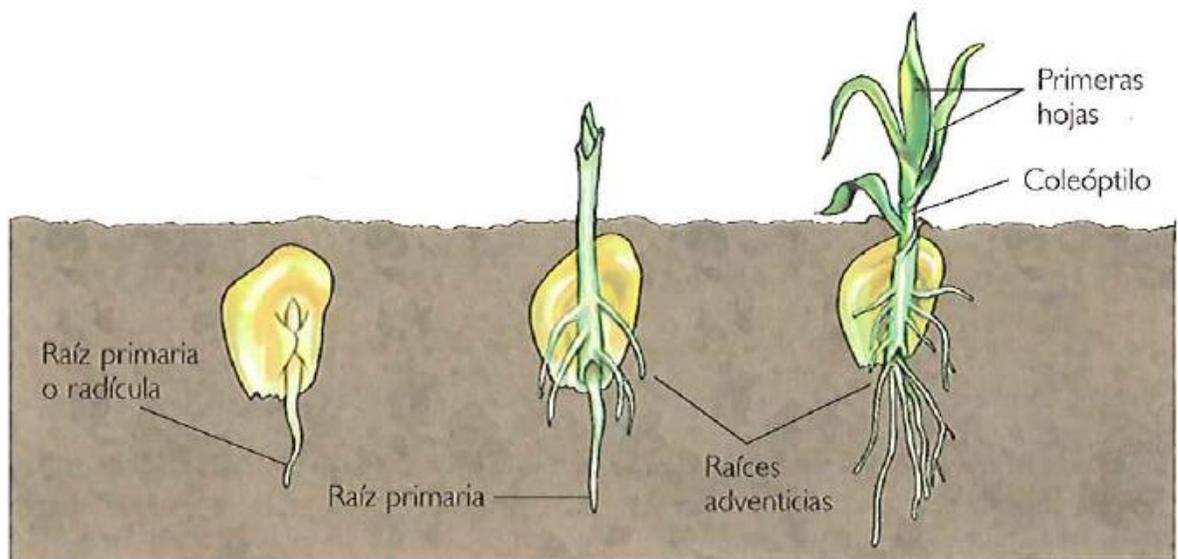
La cocción produce cambios en la proteína principal del maíz, lo que la hace más asimilable para el cuerpo humano. Tras la cocción, el caldo alcalino (conocido como *nejayote*), que contiene disueltas las cáscaras, el almidón del maíz y otras sustancias, se decanta y se descarta.

Después el grano se usa solo o se muele para tener harina de maíz. Este proceso se ha modernizado y actualmente la molienda se lleva a cabo mayoritariamente con máquinas o molinos industriales, pero en las áreas rurales persiste el uso del metate, que es un molino de piedra manual.

La nixtamalización se realiza a mano, de modo tradicional, en preparaciones a pequeña escala, o mecánicamente, en mayor escala o en la producción industrial (Paredes L. *et. al.*, 2009).

## 2.5 Germinación.

El proceso de germinación, es esencialmente la reiniciación del crecimiento del embrión una vez superado el período de latencia y cuando las condiciones de temperatura, luz, disponibilidad de oxígeno y agua son las adecuadas. Independientemente del tiempo entre la madurez de la semilla y la reactivación del crecimiento, la germinación se puede caracterizar por su patrón trifásico como se muestra en la Figura 2.



**FIGURA 2** Patrón trifásico de germinación del grano de maíz

De acuerdo con Taiz L. y Zeiger E. (2006) la fase I de imbibición, es un proceso físico cuya fuerza directriz está determinada por la diferencia de potencial acuoso entre la semilla y el sustrato que la rodea, una vez incorporada una cierta cantidad de agua, que varía según la especie.

Fase II o de activación metabólica, en la que predominan los procesos catabólicos, se activan las enzimas para el desdoblamiento y movilización de las reservas hacia el eje embrionario donde el tejido quiescente se vuelve metabólicamente activo.

La fase III o de crecimiento o germinación propiamente dicha se inicia al producirse elongación y división celular. Durante el proceso de germinación, en cereales, las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidos en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para suplir el crecimiento y la elongación del embrión (Taiz L. y Zeiger E. 2006).

### **2.5.1 Movilización de sustancias de reserva.**

En la semilla rehidratada se llevan a cabo 3 ciclos metabólicos como los son el ciclo de Krebs, vía de las pentosas-fosfato y glucólisis, generando compuestos químicos, generalmente energía en forma de ATP. Con respecto a polisacáridos, principalmente actúan las amilasas para desdoblar el almidón y proveer sustancias más asequibles para el embrión como lo es la glucosa. Sobre lípidos, la mayoría triglicéridos, actúan las lipasas produciendo glicerol y ácidos grasos, los cuales pueden oxidarse hasta acetil-CoA que entra en el ciclo de Krebs (Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993).

### **2.6 Empaque.**

Los empaques llevan a cabo dos funciones en la industria alimentaría: primera, proteger la vida de anaquel de los alimentos hasta un grado

predeterminado; y segunda, atraer la atención de los consumidores. (Driscoll R.H. y Paterson J.L.1998).

La producción de tortilla en México se remonta a los años 1000 y 2000 a.C. fecha en que la mayoría de los historiadores concuerdan con la domesticación del maíz, posteriormente en el año 1904 nace la primera tortilladora, para en 1905 fabricar la primera tortilladora de uso práctico por Ramón Benítez, con lo cual surge la necesidad de usar un empaque para su trasportación, tradicionalmente las tortillas eran almacenadas en trozos de tela, lo cual era poco costeable por lo que se decidió que debido al bajo costo del papel y su practicidad, empaclarlas con este material, que aún en la actualidad sigue utilizándose. (Bernal D.C. y Villagómez M., 2015).

En los años 70 comienza la utilización de los polímeros como empaques y otros artículos. El polietileno es un envase flexible y transparente que tiene como funciones: proteger al producto del oxígeno y humedad, preservar el aroma del mismo, darle estabilidad, resistencia a los agentes químicos y atmosféricos, a la tracción, estiramiento y desgarramiento, presenta facilidad para abrirse y cerrarse, es susceptible de reciclarse, presenta bajo costo en su transportación y su almacenamiento es higiénico (Vidales G.D. 2000). Debido a las características antes mencionadas ha sido utilizado los últimos años para empaclar y extender la vida de anaquel de diferentes productos alimenticios entre ellos las tortillas.

## **CAPITULO 3**

### **3. Materiales y Métodos.**

#### **3.1 Localización.**

La experimentación y preparación de muestras fueron llevadas a cabo en la ciudad de Saltillo Coahuila, México (Figura 3) en la Universidad Autónoma

Agraria Antonio Narro (Figura 4) en el laboratorio de Bioprocesos y Procesamiento del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos (Figura 5).



Figura 3. Ubicación Saltillo Coahuila



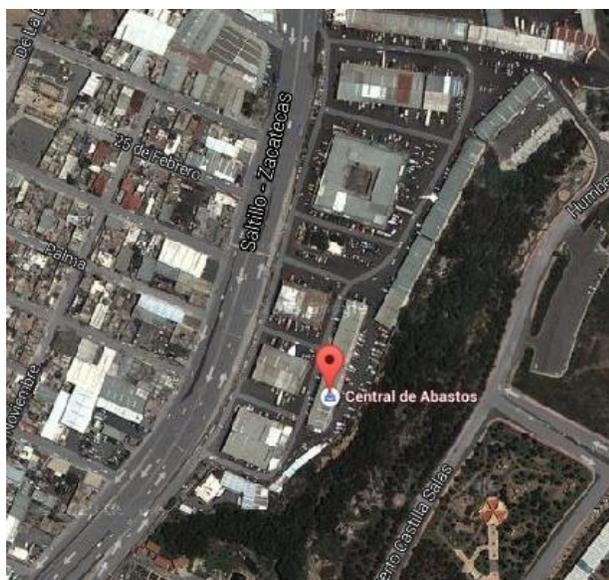
Figura 4. Ubicación UAAAN



Figura 5. Ubicación de laboratorios del D.C.T.A

### 3.2 Material biológico.

El maíz blanco utilizado para esta experimentación fue obtenido de la central de abastos de la ciudad de Saltillo Coahuila, México (Figura 6).



**Figura 6. Ubicación del mercado de abastos**

### **3.3 Material de laboratorio.**

El material utilizado en la presente investigación, se enlista a continuación:

- Celdas para espectrofotómetro
- Colador
- Contenedores de ½ litro
- Espátula
- Gradilla
- Guantes
- Malla para recubrimiento
- Matraz Erlenmeyer
- Micro pipeta
- Molino manual
- Mortero
- Parrilla de agitación y calentamiento
- Pipeta
- Probeta
- Tubos de ensaye
- Vaso de precipitados

### **3.4 Equipos y reactivos**

#### **3.4.1 Equipos.**

- Balanza Analítica
- Balanza Granataria
- Fotocolorímetro

- Molino Tradicional Manual
- Penetrómetro
- Termobalanza

#### **3.4.2 Reactivos.**

- Agua Destilada
- Agua Purificada
- Almidón
- Cal
- Lugol
- Yodo
- Yoduro De Potasio

### 3.5 Método experimental.

Para la experimentación se establecieron cuatro tratamientos con 5 repeticiones de cada uno como se muestra en la Figura 7.

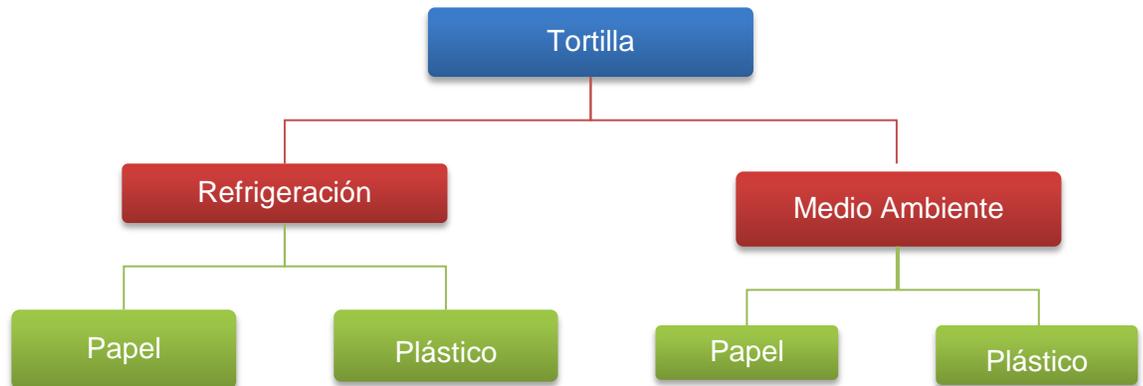
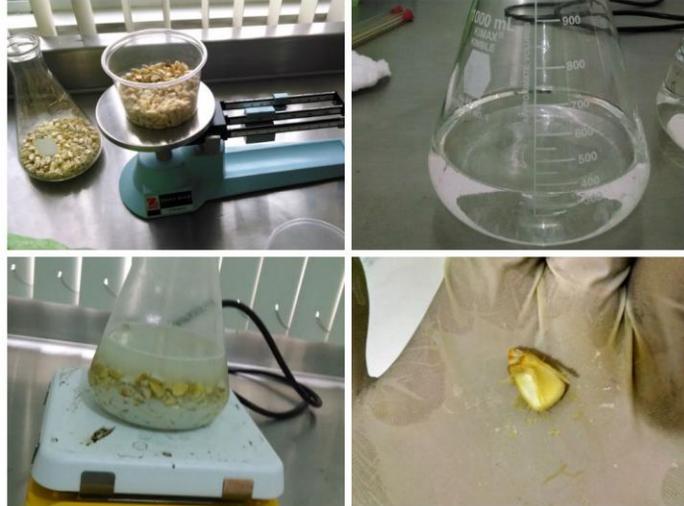


Figura 7. Método experimental

### 3.6 Preparación de testigo.

Se pesaron 300g de maíz en báscula granataria, se virteron en un matraz Erlenmeyer de 1Lt, se agregó una solución de cal en agua purificada, se sometió a calentamiento sin llegar a ebullición hasta el desprendimiento del pericarpio y se dejó reposar durante 24 horas (Figura 8).



**FIGURA 8. Nixtamalización del grano**

Después del reposo se efectuó un lavado con agua purificada, se retiró el exceso de agua con ayuda de un colador y se molió formando la harina para tortilla, se agregó un poco de agua para elaborar la masa (Figura 9).



**FIGURA 9. Molienda del grano y prelación de la masa**

Una vez la masa lista, se pesaron los testales y se prensaron dando la forma característica de la tortilla, para una posterior cocción en el comal, y envasado según el tratamiento (Figura 10).



**FIGURA 10. Elaboración de tortilla y envasado**

### **3.7 Preparación de tortillas a base de maíz germinado.**

Se pesaron 5 muestras de 300g que se sometieron a un remojo de 24hrs para activar la semilla, posteriormente se eliminó el agua de remojo, se transfirieron a los contenedores de medio litro (previamente horadados), se colocaron en una charola de aluminio con algodón, como se muestra en las imágenes de la Figura 11, se resguardaron de luz y posible contaminación de plagas en un lugar fresco y seco hasta lograr el nivel de germinación con la mínima cantidad de almidón establecida en los trabajos de Contreras S. M.A y Pérez V.L.E. (2014).



**FIGURA 11. Preparación y germinación del grano**

Una vez que se obtuvo el nivel de germinación deseado se dispuso al proceso de nixtamalización antes mencionado, dejándolo de igual manera en reposo por 24 horas para su posterior molienda, cocción y envasado (Figura 12).



**FIGURA 12. Nixtamalización de grano germinado y elaboración de tortilla**

### 3.8 Determinación de almidón.

Para la determinación de almidón se utilizó una técnica espectrofotométrica, a una longitud de onda de 620 nm, que se describe a continuación.

#### 3.8.1 Preparación de solución estándar de almidón.

Se utilizaron 70ml de agua destilada a punto de ebullición, se agregaron 0.2g de almidón, se dejó temperar para posteriormente aforarlos a 100ml con agua destilada (Figura 13).



FIGURA 13. Preparación de solución de almidón de concentración conocida

#### 3.8.2 Preparación de la solución stock.

Se pesaron 1.1g de cristales de yodo y 2.2g de yoduro de potasio para su disolución en 50ml de agua destilada. Para generar la solución de trabajo se tomaron 2ml y se agregaron 98ml de agua destilada.



**FIGURA 14. Preparación de solución stock de yodo**

### **3.8.3 Elaboración de curva de calibración para almidón.**

Se prepararon 11 tubos de ensaye como se muestra en el Cuadro 1, a partir de ellos se tomaron 2 ml de cada tubo con la micropipeta y se dispusieron en otros 11 tubos respectivamente, a cada uno se le añadieron 2 ml de solución stock diluida, se homogenizó manualmente y se leyó absorbancia en el espectrofotómetro a 620nm utilizando como blanco el tubo 1.

**CUADRO 1. Curva de calibración de almidon**

| Nº de tubo | ml de sol. estándar de almidón | ml de H2O destilada | Absorbancia | Almidón % |
|------------|--------------------------------|---------------------|-------------|-----------|
| 1          | 0                              | 5                   | 0           | 0         |
| 2          | .5                             | 4.5                 | .076        | .02       |
| 3          | 1                              | 4                   | .143        | .04       |
| 4          | 1.5                            | 3.5                 | .236        | .06       |
| 5          | 2                              | 3                   | .302        | .08       |
| 6          | 2.5                            | 2.5                 | .420        | .1        |
| 7          | 3                              | 2                   | .501        | .12       |
| 8          | 3.5                            | 1.5                 | .631        | .14       |
| 9          | 4                              | 1                   | .652        | .16       |
| 10         | 4.5                            | .5                  | .775        | .18       |
| 11         | 5                              | 0                   | .864        | .2        |

Con el porcentaje de almidón de la tabla anterior se obtuvo el gráfico que se encuentra en el Anexo 7 para determinar el valor de  $R^2$  (0.995) y la ecuación para determinar el contenido de almidón en las muestras a evaluar con la ecuación despejada (Figura 15), donde X es el contenido de almidón y Y la absorbancia.

$$X = \frac{Y + 0.019}{4.378}$$

**FIGURA 15. Fórmula para obtener el contenido de almidón**

### 3.9 Determinación de características físicas.

Se llevaron a cabo cada 48 horas en el laboratorio de procesamiento, como se describe a continuación:

#### 3.9.1 Determinación de humedad.

La determinación de humedad fue llevada a cabo por medio de la termo balanza PRECISA XM50, se utilizaron muestras de aproximadamente 1g y se colocaron en la charola de calentamiento, para iniciar con la radiación, el proceso térmico tuvo duración de 1.8 minutos a 98°C.



FIGURA 16. Determinación de humedad

### 3.9.2 Determinación de color.

La determinación de color se llevó a cabo con ayuda del colorímetro Konica Minolta modelo CR-400 en dos puntos de la tortilla, obteniendo como resultado los valores  $L^*a^*b^*$ , los cuales indican:

$L^*$ =Luminosidad.

$a^*$  y  $b^*$ = coordenadas de cromaticidad

$a^*$ = (+) indica color rojo, (-) indica color verde

$b^*$ = (+) indica color amarillo, (-) indica color azul



FIGURA 17. Determinación de color

### 3.9.3 Determinación de firmeza.

La firmeza se determinó mediante dos punzaciones de la tortilla con ayuda del penetrómetro digital Extech FHT200 para obtener la firmeza en

kilogramos y después modificarse mediante la fórmula presentada en la Figura 19.



**FIGURA 18. Determinación de firmeza con penetrómetro Exttech FHT200**

Tomando en cuenta el diámetro de la punta que se utilizó (0.3cm), para transformar las unidades a  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , fue necesario obtener el área punzada con la siguiente fórmula (Figura 19):

$$a = (\pi \Theta^2) / 4$$

**FIGURA 19. Fórmula para obtención de área de punzada**

#### **3.9.4 Diseño estadístico.**

Las lecturas obtenidas en las diversss determinaciones fueron sometidas a un análisis de varianza factorial  $A \times B \times C$ , siendo el primer factor A, para evaluar las condiciones del grano de maíz previa a la nixtamalización con dos niveles (germinado y sin germinar) con el que posteriormente se elaboró las tortillas, el segundo factor B, que evalúa las dos condiciones de almacenamiento de las tortillas (temperatura ambiente con un promedio

de 21.12°C y refrigeración con un promedio de 2.66°C) y como tercer factor C, para evaluar el tipo de envase cuyos dos niveles fueron bolsa de plástico y papel. Las observaciones se realizaron en 5 repeticiones y el paquete estadístico utilizado fue el UANL.

## **CAPITULO 4**

### **4. Resultados y discusiones.**

Se trabajó con maíz germinado y sin germinar, una vez alcanzado el nivel de germinación deseado se llevó a cabo la nixtamalización y a continuación la elaboración de tortillas (Figura 12). Enseguida las tortillas se sometieron a dos tipos de envase (plástico y papel) y dos métodos de almacenamiento (temperatura ambiente y refrigeración), posteriormente se realizaron las determinaciones físicas y se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **4.1.2 Color.**

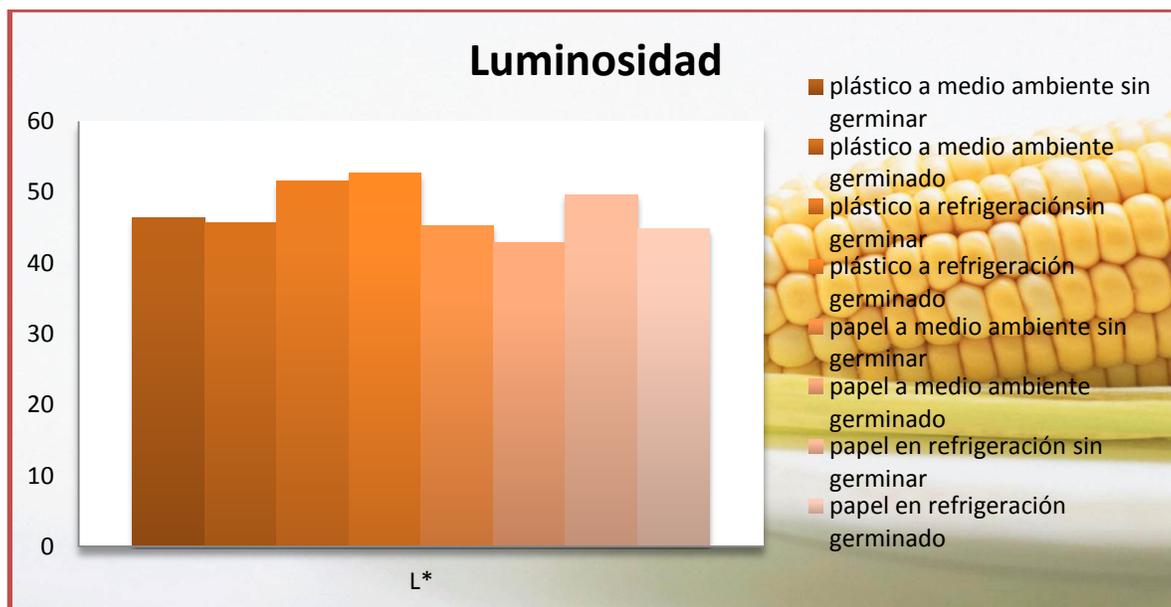
##### **4.1.2.1 Colorimetrías de tortillas día 0.**

Debido al tipo de experimentación y el tiempo al cual se evaluaron las tortillas ya fuesen elaboradas con maíz germinado o sin germinar los datos arrojados se muestran en el Cuadro 2.

Como se muestra en la Figura 20 se denota una diferencia numérica entre la luminosidad de las tortillas elaboradas con maíz geminado sometidas a refrigeración y envasadas en plástico, y la encontrada en el resto de los tratamientos, siendo ésta mayor que la luminosidad presentada por las tortillas elaboradas con maíz germinado pero sometidas a almacenamiento en medio ambiente y envasadas en papel.

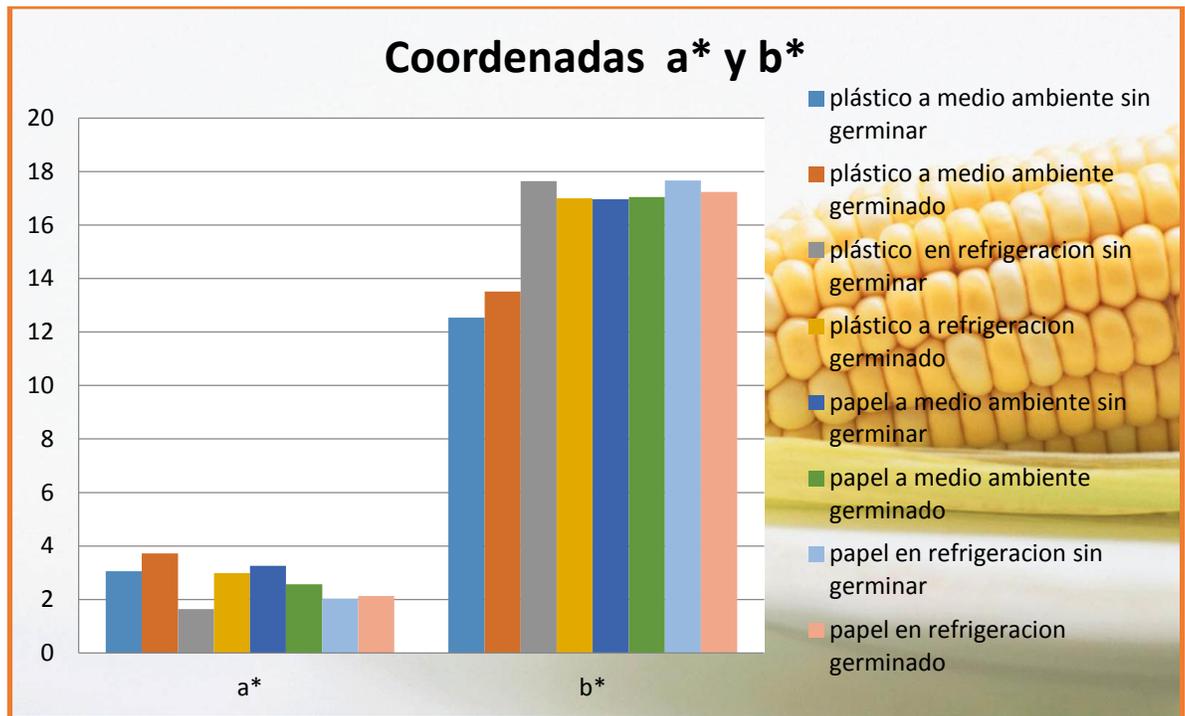
**CUADRO 2. Colorimetría en tortilla de los diferentes tratamientos en el día 0**

| Tratamiento                            | L*     | a*    | b*     |
|--|--------|-------|--------|
| plástico a medio ambiente sin germinar | 46.387 | 3.053 | 12.537 |
| plástico a medio ambiente germinado    | 45.745 | 4.299 | 12.092 |
| plástico a refrigeración sin germinar  | 51.51  | 1.643 | 17.642 |
| plástico a refrigeración germinado     | 52.641 | 2.983 | 17.004 |
| papel a medio ambiente sin germinar    | 45.189 | 3.255 | 16.962 |
| papel a medio ambiente germinado       | 42.847 | 2.567 | 17.044 |
| papel en refrigeración sin germinar    | 49.631 | 2.033 | 17.664 |
| papel en refrigeración germinado       | 44.838 | 2.128 | 17.241 |



**FIGURA 20. Comparación de L\* (luminosidad) en tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar en el día 0 de los diferentes tratamientos**

En cuanto a la coordenada  $a^*$  existe una diferencia numérica entre los tratamientos de tortillas elaboradas con maíz germinado almacenadas a medio ambiente envasada en plástico y las tortillas elaboradas con maíz sin germinar almacenadas en refrigeración y envasadas con plástico; coincidiendo con los resultados expuestos en los trabajos de Pérez V. y Contreras S. (2014), en los cuales se menciona la diferencia en la saturación de color en el factor  $a^*$  entre las tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar.



**FIGURA 21. Factores  $a^*$  y  $b^*$  de colorimetría en el día 0 de los diferentes tratamientos**

#### 4.1.2.2 Luminosidad en tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar almacenadas durante 12 días.

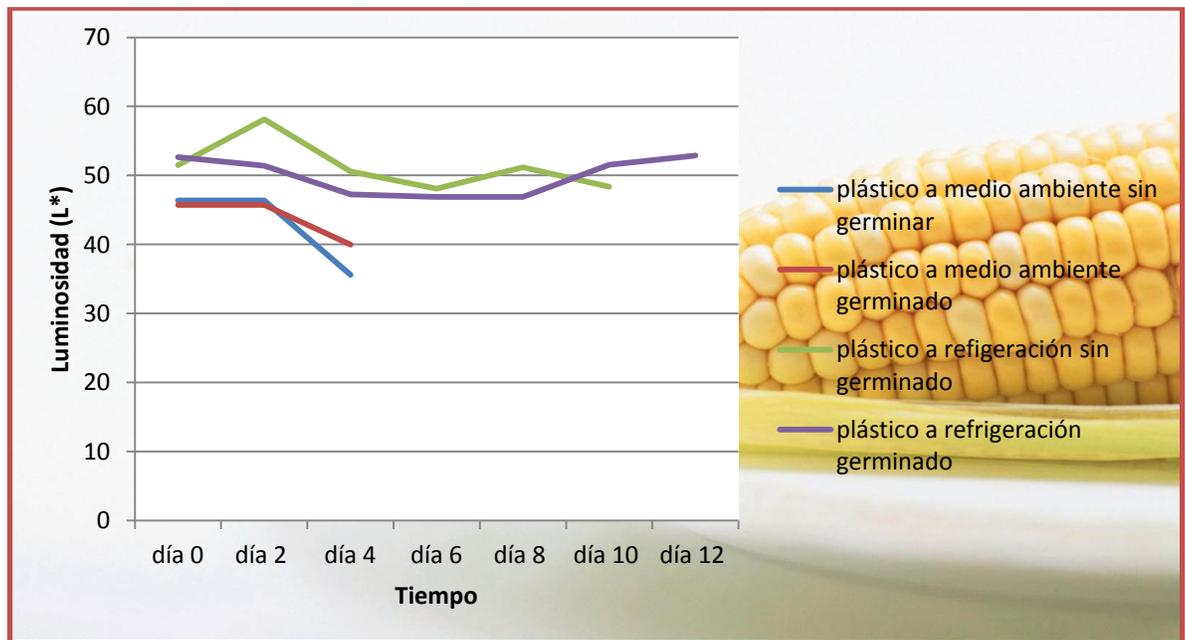
Después de ser sometidas a los diferentes tratamientos de almacenamiento y envase se decidió comparar los tratamientos como se muestra en el Cuadro 3 y Figura 22.

**CUADRO 3. Lecturas para luminosidad (L\*) de las tortillas sometidas a diferentes tratamientos de almacenamiento por 12 días**

| tratamiento                            | día 0  | día 2  | día 4  | día 6  | día 8  | día 10 | día 12  |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| plástico a medio ambiente sin germinar | 46.387 | 46.387 | 35.58  |        |        |        |         |
| plástico a medio ambiente germinado    | 45.717 | 45.745 | 39.982 |        |        |        |         |
| plástico a refrigeración sin germinar  | 51.51  | 58.152 | 50.571 | 48.092 | 51.174 | 48.35  |         |
| plástico a refrigeración germinado     | 52.641 | 51.385 | 47.265 | 46.867 | 46.866 | 51.529 | 52.8582 |

Como se muestra en el cuadro 3 se puede apreciar que la vida de anaquel más larga es de las tortillas elaboradas con maíz germinado y almacenadas en refrigeración, las cuales presentan un comportamiento oscilante al igual que las tortillas elaboradas con maíz sin germinar almacenadas en refrigeración y envasadas en plástico; la diferencia entre éstas además de

la durabilidad es que las tortillas elaboradas con maíz sin germinar pierden luminosidad, después la recupera llegando a niveles superiores a los iniciales en el día 2 para posteriormente ir en descenso, mientras que las tortillas elaboradas con maíz germinado tienen una luminosidad menor desde el inicio que decrece de la misma forma pero la recuperación es progresiva llegando a niveles superiores a los iniciales en el día 12 lo anterior puede reforzarse en la Figura 22.



**FIGURA 22. Modificación de la luminosidad (L\*) en el periodo de evaluación**

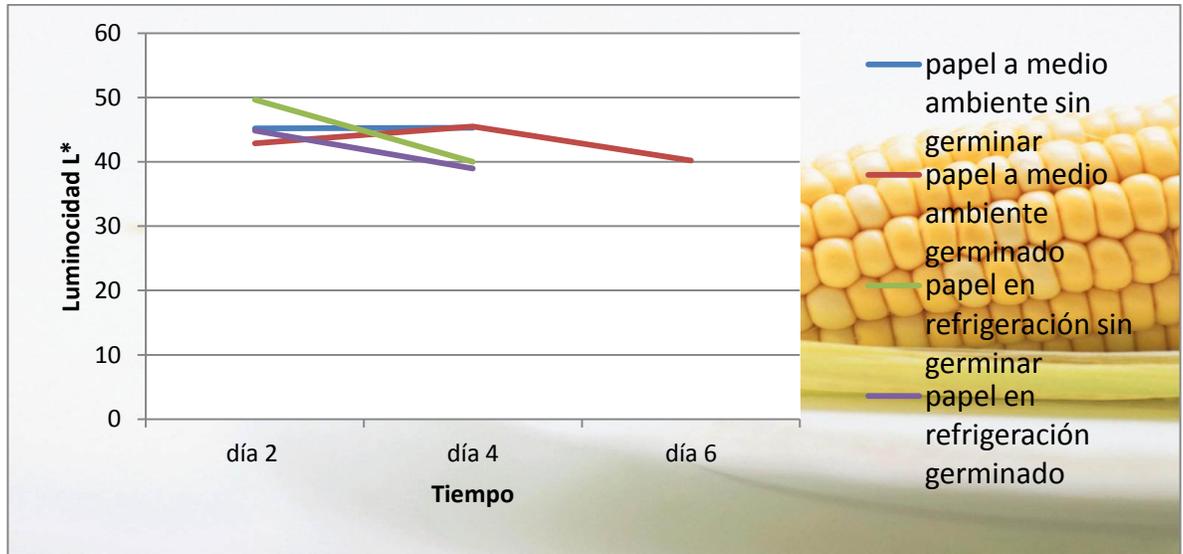
En contraste con las tortillas envasadas en plástico, las tortillas en papel a pesar de ser almacenadas bajo condiciones similares no lograron presentar un comportamiento oscilante debido a la permeabilidad que presentan ambos empaques como se muestra en Cuadro 4 y Figura 23, ya que el material del envase del alimento es un factor primordial para prevenir la deshidratación y la pérdida de peso, concordando con Barreiro y Sandoval B. (2006), la deshidratación produce una concentración de pigmentos

intensificando el color de las antes mencionadas y reduciendo la luminosidad.

El comportamiento oscilante de la luminosidad de las tortillas puede ser debido a la reabsorción de humedad que proporciona el tipo de envase, siendo mayor en las tortillas conservadas en plástico y la retrogradación de almidón, en la cual se lleva a cabo un proceso de reasociación y recristalización de las cadenas del polisacárido, de acuerdo a Boussingault J.B. en 1852, citado por Flores C. (2006)

**CUADRO 4. Modificación del factor (L\*) en los tratamientos cuyo común denominador es el envasado en papel**

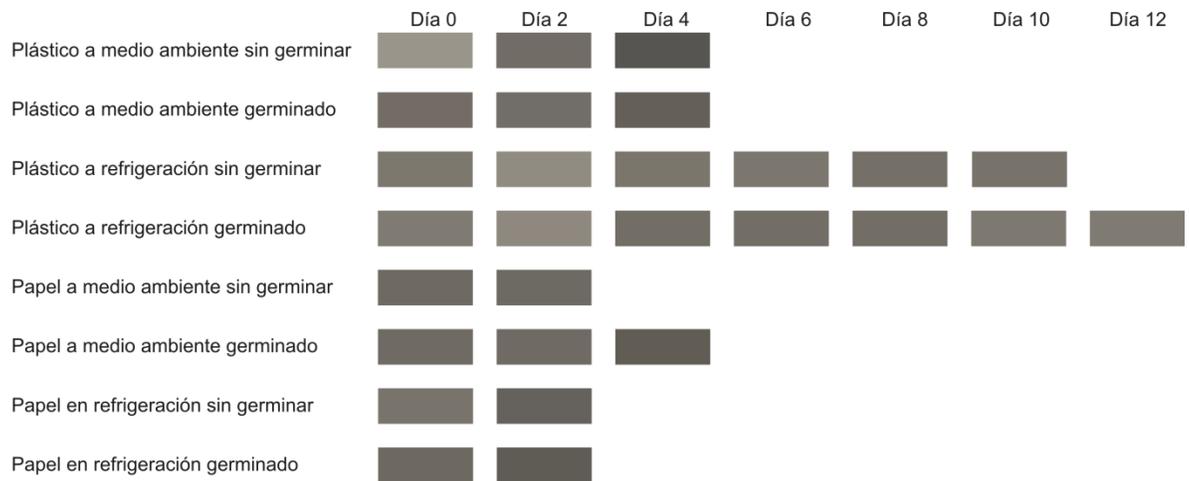
| tratamiento                         | día 0  | día 2  | día 4  | día 6 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| papel a medio ambiente sin germinar | 45.189 | 45.297 |        |       |
| papel a medio ambiente germinado    | 42.847 | 45.507 | 40.184 |       |
| papel en refrigeración sin germinar | 49.631 | 40.025 |        |       |
| papel en refrigeración germinado    | 44.838 | 38.966 |        |       |



**FIGURA 23. Modificación de luminosidad (L\*) en los tratamientos cuyo común denominador es el envasado en papel**

#### **4.1.2.3 Comparativo durante 12 días de la saturación de color.**

Las coordenadas  $a^*$   $b^*$  dan como resultado una posición en el diagrama de cromaticidad CIEL\* $a^*$  $b^*$  es decir un color, que fue registrado durante los días que la evaluación estuvo en vigencia, como se muestra en la Figura 24.



**FIGURA 24. Modificación en la saturación de color en los 12 días, de tortillas sometidas a diferentes condiciones de envase y almacenamiento**

Según los datos mostrados en el Cuadro 2 los valores más elevados en la coordenada  $b^*$  son los datos recabados en las repeticiones sometidas a un almacenamiento bajo condiciones de refrigeración, lo que nos indica un incremento en el color amarillo, consecuencia de la presencia de carotenoides, los cuales en la germinación se degradan para la producción de clorofila concordando con lo mencionado por Fortes, D., Herrera, R. S., González, S., García, M., Romero, A., y Cruz, A. M. (2006), de tal forma que al incrementarse los valores de  $b^*$  disminuyen los de  $a^*$ .

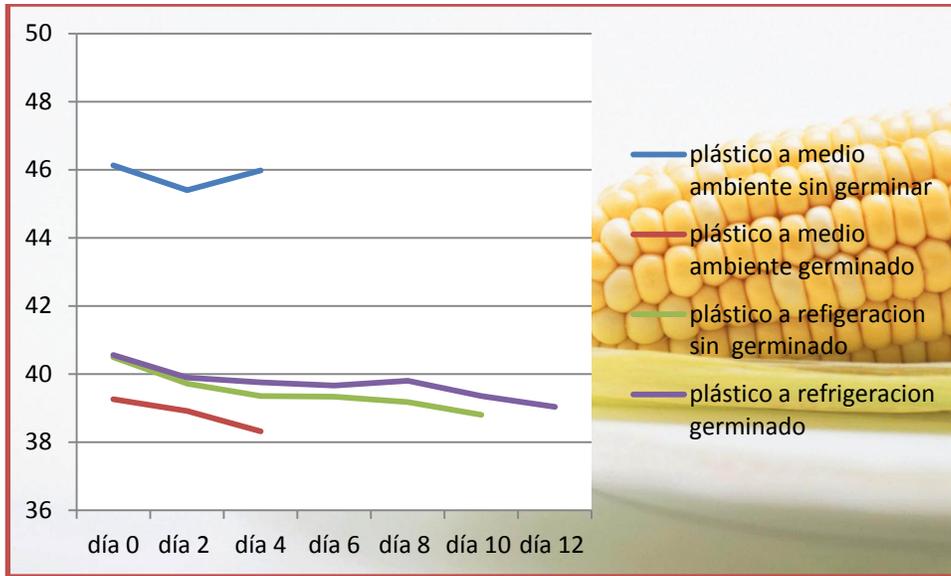
Por otra parte, como se muestra en los apartados 4.1.2.2 y 4.1.2.3 el comportamiento del color y la luminosidad registrados oscila según el tratamiento, es decir dependiendo el empaque, materia prima y método de almacenamiento es la reabsorción de humedad afectando directamente la luminosidad que tiene una relación con los factores  $a^*$  y  $b^*$ .

#### 4.1.3 Fluctuación de peso en tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar durante 12 días.

El peso fue fluctuando según la permeabilidad del empaque y el método de almacenamiento al cual fueron sometidas las tortillas, tomando esto en cuenta se presentaron los datos tomando como común denominador el tipo de envase que se manejó con cada uno de los tratamientos, los promedios de los datos recabados se muestran en los Cuadros 4 y 5 así como en las Figuras 25 y 26.

**CUADRO 1. Peso registrado en las tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar empacadas en plástico**

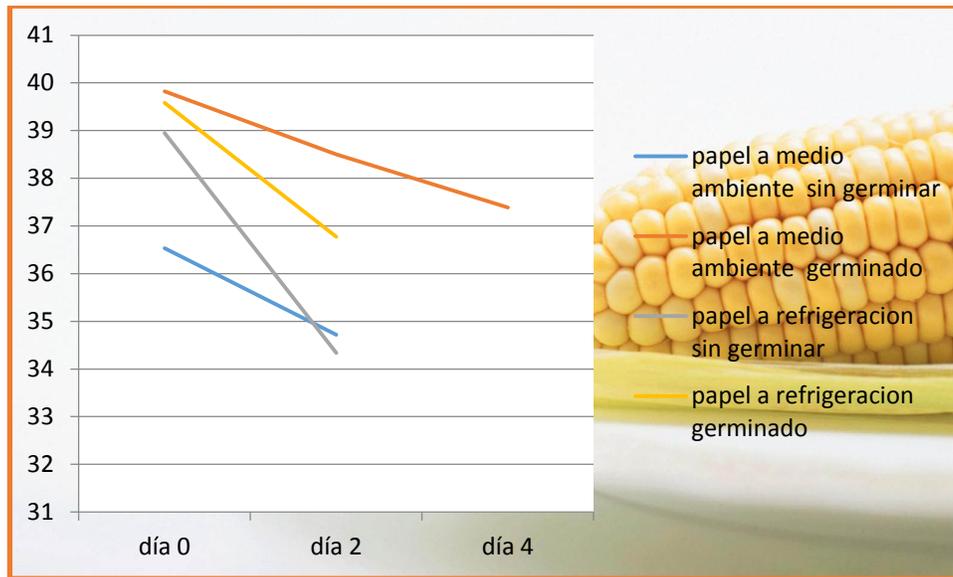
| tratamiento                            | día 0 | día 2  | día 4 | día 6 | día 8 | día 10 | día 12 |
|--|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| plástico a medio ambiente sin germinar | 46.13 | 45.404 | 45.98 |       |       |        |        |
| plástico a medio ambiente germinado    | 39.26 | 38.92  | 38.32 |       |       |        |        |
| plástico a refrigeración sin germinado | 40.5  | 39.72  | 39.36 | 39.34 | 39.18 | 38.8   |        |
| plástico a refrigeración germinado     | 40.56 | 39.9   | 39.76 | 39.66 | 39.8  | 39.36  | 39.04  |



**FIGURA 25.** Fluctuación en peso de tortillas envasadas en plástico sometidas a diferentes condiciones de almacenamiento

**CUADRO 5.** Peso registrado en las tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar empacadas en papel

| Tratamiento                         | día 0 | día 2 | día 4 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| papel a medio ambiente sin germinar | 36.53 | 34.72 |       |
| papel a medio ambiente germinado    | 39.82 | 38.5  | 37.39 |
| papel a refrigeración sin germinar  | 38.95 | 34.34 |       |
| papel a refrigeración germinado     | 39.58 | 36.77 |       |



**FIGURA 26. Fluctuación en peso de tortillas envasadas en papel sometidas a diferentes condiciones de almacenamiento**

El peso de las tortillas con respecto al tiempo se ve directamente afectado con la permeabilidad del material de empaque y la disposición de humedad que éste permita, podríamos decir que a mayor retención de humedad que el empaque disponga es mayor la reabsorción de la tortilla, por lo tanto es mayor el peso registrado. De igual forma que la luminosidad, el peso durante la experimentación de cada tratamiento tuvo un comportamiento oscilante como se muestra en los gráficos del apartado 3.1; comparando los resultados de los tratamientos en los que se realizó una germinación previa a la nixtamalización del maíz, se registró un aumento en peso mayor a los que no, de lo anterior podemos deducir que las tortillas elaboradas con maíz germinado presentaron en su estructura fibrosidades provenientes del germen, las cuales favorecen una mayor reabsorción de humedad alargando así las cualidades organolépticas aptas para consumo como se mencionó en el apartado 2.1.

#### **4.1.4 Firmeza.**

La firmeza se midió con ayuda de un penetrómetro digital Extech FHT200 y los resultados obtenidos en unidades de kilogramos se convirtieron a  $\text{kg/cm}^2$  para su posterior análisis en un diseño estadístico de  $2^3$  (A\*B\*C) o un  $2^2$  (A\*B) de acuerdo a las variables con las que se contaba. Se realizaron 5 repeticiones por cada tratamiento. Debido al tipo de experimentación, el análisis factorial se realizó por día.

##### **4.1.4.1 Día 0.**

Como se muestra en el Anexo1 de acuerdo al análisis de varianza se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el factor C, el cual hace referencia al tipo de envase, aunque el tiempo en que se mantuvieron en ellos fue relativamente corto, fue lo suficiente para que las tortillas presentaran diferencias significativas entre ellas.

Por otra parte en el Anexo 2 se puede observar la diferencia estadística entre la firmeza obtenida de la tortilla elaborada con maíz germinado y sin germinar (variables del factor A), cabe remarcar la importancia de la firmeza de la tortilla ya que está directamente relacionada con la paleabilidad, lo cual influye en la aceptabilidad del consumidor al ser una cualidad organoléptica (Valero, C., & Ruiz-Altisent, M. 1998).

##### **4.1.4.2 Día 2.**

Según la información presentada en el Anexo 3 no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

Por otra parte se observan en el Anexo 4 que en las medias de los tres factores se denota una diferencia; en el factor A se registró una firmeza de 191.81 Kg/cm<sup>2</sup> en las tortillas elaboradas con maíz sin germinar. Mientras en el Anexo 5 para el factor B se registró una media de firmeza superior de las tortillas almacenadas a temperatura ambiente con un valor de 163.85 Kg/cm<sup>2</sup>. Para finalizar en el factor C se obtuvieron valores mayores en las tortillas envasadas en papel que en bolsa de plástico con un valor de 187.05Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.1.4.3 Día 4.**

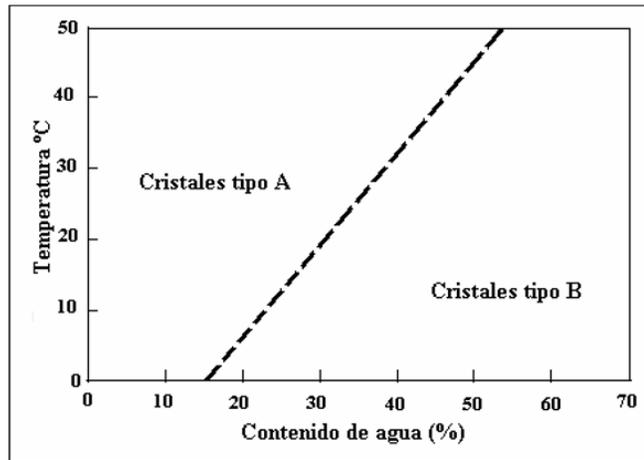
En el día cuatro debido a la falta de datos solo se analizaron estadísticamente dos factores teniendo el A con dos variables (tortillas elaboradas con maíz sin germinar y germinado), y el factor B representado por las condiciones de almacenamiento (medio ambiente o refrigeración); el factor C se descartó puesto que las tortillas elaboradas con maíz sin germinar almacenadas en papel ya fuese en medio ambiente o refrigeración no presentaban características aptas para consumo humano.

En el Anexo 5 según el análisis estadístico, la interacción de los factores A y B, se obtuvo una P (.096) lo que indica que entre el tratamiento previo del maíz utilizado para la elaboración de tortilla y las características de almacenamiento, existe una diferencia estadísticamente significativa para la variable firmeza.

La firmeza de la masa está determinada por el tipo de maíz, la dureza del grano, las condiciones de secado, la absorción de agua y el grado de gelatinización de los almidones (Bedolla S.y Rooney,LW. 1984).

Por lo antes mencionado al igual que las características físicas anteriores, la firmeza se ve directamente relacionada con la disponibilidad de agua presente en cada tortilla, ya que existen dos tipos de cristales demostrado en los trabajos de Huzukuri S. (1961) con almidón de papa y de Marsh R.D.L. (1986) con almidón de trigo demostraron que el contenido de agua y la temperatura afectan el tipo de cristal formado en la retrogradación del almidón.

Según Marsh R.D.L (1986) y como se muestra en la Figura 27 con temperaturas altas y bajos contenidos de humedad, preferentemente se forman cristales tipo A, los cuales no presentan la capacidad de deformarse para generar geles nuevamente como en las tortillas almacenadas en papel, sin embargo a temperaturas bajas y contenidos de humedad altos se forman cristales tipo B, que presentan la capacidad de volver a deformarse para formar los geles, como en las tortillas almacenadas en plástico, a mayor humedad la firmeza disminuye debido a la formación de los geles de almidón.



**FIGURA 27. Tipo de cristal formado durante la retrogradación de almidón (Marsh, 1986)**

Según Struik L.C. (1978) con un contenido adecuado de humedad y a temperaturas altas ciertas propiedades de la matriz son similares a las de un producto recién elaborado, de lo contrario los geles se cristalizan o solidifican lo cual impacta la firmeza de la tortilla como se muestra en la Figura 28.



**FIGURA 28. Cristalización de los geles de almidón formados en tortilla de maíz germinado y nixtamalizado, elaboradas en esta investigación**

Debido a los factores antes mencionados, las fibrosidades provenientes de la semilla germinada (Figura 28) ayudan a la reabsorción y retención de humedad en la misma, lo que nos lleva a la disminución de la firmeza en la tortilla, alargando así la vida de anaquel tomando en cuenta los parámetros mencionados en un principio.



**FIGURA 29** Fibrosidades provenientes del germen en la tortilla elaborada en la presente investigación

#### **4.1.5 Humedad.**

La humedad al igual que el peso se vio directamente afectada con el método de almacenamiento y la permeabilidad del envase.

##### **4.1.5.1 Día 0.**

Los datos exhibidos en el Anexo 8 nos indican que tanto en el factor A como en el factor B existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables de los factores antes mencionados.

#### **4.1.5.2 Día 2.**

En el Anexo 9 según el análisis estadístico, se muestra que en el factor A existe una diferencia estadística entre los valores obtenidos entre las tortillas elaboradas con maíz germinado y sin germinar.

#### **4.1.5.3 Día 4.**

En el Anexo 10 se muestra que según el análisis estadístico, en el factor B existe una diferencia estadística entre los tratamientos de refrigeración y medio ambiente.

Como se ha mencionado anteriormente en los apartados 4.1.2.4, 4.1.3.1 y 4.1.4.4 la importancia de la humedad en la vida útil es detonante para definir el término de la misma, según Badui, S.D. (1999) la actividad de agua ( $A_w$ ) dependen las propiedades reológicas y de textura de los alimentos, además que es responsable de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las tres principales causas del deterioro de un producto. Por otra parte el empaque del alimento es un factor primordial para prevenir la deshidratación y la pérdida de peso, de acuerdo con Barreiro y Sandoval B. (2006), por lo tanto la firmeza, intensidad de color y presencia de microorganismos de igual forma se ven afectados por los cambios de humedad, de lo anterior podemos inferir que las fibrosidades son detonantes para extender la vida de anaquel para consumo humano, por que ayudan a la reabsorción de la humedad en la tortilla conforme pasa el tiempo de almacenamiento.

#### **4.1.6 Presencia de microorganismos.**

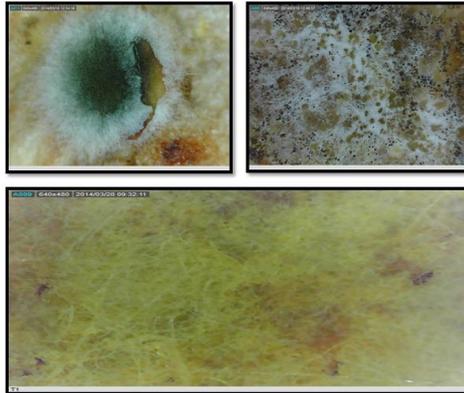
La presencia de microorganismos es de vital importancia en la vida útil del alimento ya que es un indicador para el término de la antes mencionada.

Se desconoce la identificación de los microorganismos que se presentan a continuación, pero la descripción de los antes mencionados coincide con los hongos característicos que atacan el maíz como lo son: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Ustilago*.

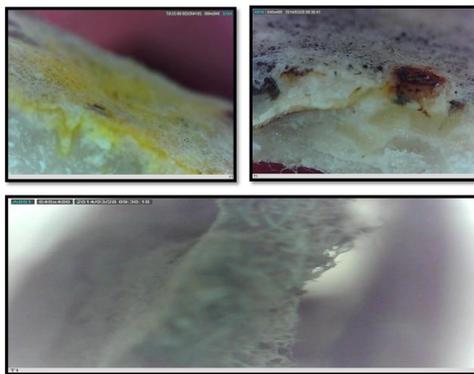
**CUADRO 6. Días en que se detectó la presencia de microorganismos**

| Tratamiento                            | D | D | D | D | D | D | D |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
|  | í | í | í | í | í | í | í |
|  | a | a | a | a | a | a | a |
|  | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 0 | 2 |
| Plástico A Medio Ambiente Sin Germinar |   |   | x |   |   |   |   |
| Plástico A Medio Ambiente Germinado    |   |   | x |   |   |   |   |
| Plástico A Refrigeración Germinado     |   |   |   |   |   | x |   |
| Plástico A Refrigeración Germinado     |   |   |   |   |   |   |   |
| Papel A Medio Ambiente Sin Germinar    |   | x |   |   |   |   |   |
| Papel A Medio Ambiente Germinado       |   |   | x |   |   |   |   |
| Papel En Refrigeración Sin Germinar    |   | x |   |   |   |   |   |
| Papel En Refrigeración Germinado       |   | x |   |   |   |   |   |

Como se muestra en las Figuras 30, 31 y 32 se realizó un análisis macroscópico y microscópico sin llegar a la identificación de los organismos que marcaron el término de la vida útil de las tortillas evaluadas.



**FIGURA 30.** Imágenes macroscópicas de hongos que se presentaron en las tortillas elaboradas con maíz sin germinar envasadas en plástico a temperatura ambiente



**FIGURA 31** Incremento de 640x480



**FIGURA 32. Imágenes microscópicas de hongos que se presentaron en tortillas elaboradas con maíz germinado almacenadas en papel a temperatura ambiente**

## **CAPITULO 5.**

### **5. Conclusiones.**

Según los datos recabados en el apartado de resultados, la humedad y la temperatura son determinantes para mantener los factores en valores aptos para consumo humano, si se mantiene la humedad el mayor tiempo posible los demás factores no se verán afectados, debido a la permeabilidad de los envases utilizados y las temperaturas a las cuales se sometieron las diferentes tipos de tortillas, podemos concluir que el tratamiento que presentó un mayor tiempo conservando las características aptas para consumo humano, como lo son firmeza, humedad, color y ausencia de microorganismos, fue el de las tortillas elaboradas con maíz germinado, envasadas en plástico y almacenadas en refrigeración.

## CAPITULO 6.

### 6. Bibliografía.

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993. "Fisiología y Bioquímica Vegetal". Interamericana/ McGraw-Hill.

Badui, S. D. 1999 Química de los alimentos, Person Educación, Editorial Alhambra Mexicana S.A.

Baker, L.A. and Rayas-Duarte, P. 1998. Freeze thaw stability of amaranth starch and the effects of salt and sugars. *Cereal Chemistry*, 75:301-307

Barreiro y Sandoval B. 2006 Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio 1ª edición.

Bello.L.A, Guevara.F,Paredes.O 2009 La Nixtamalización y el valor Nutritivo del Maíz. *Ciencias* octubre-marzo 60-71p

Bedolla, S. and Rooney L.W. 1984 Characteristics of US and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal foods world*

Biliaderis, C.G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 69:60-78.

Bressani, R. 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 5-30. Guatemala, INCAP.

Boussingault, J. B. 1852 De la transformation du pain tendre en pain rassis, *Ann. Chimie Physique*, 36,490.

Contreras S., 2014 Cuantificación de aminoácidos esenciales en tortilla nixtamalizada de maíz (*Zea Mays*) germinado.

Driscoll R. H. And Paterson J. L. 1998 *Packaging and Food Preservation*. USA.

Ellis, G. 1996. How culturally appropriate is the communicative approach?.ELT journal, 50(3), 213-218.

Días C., Manuel V. 2005. Historia de la tortilla. Crónicas de bernal Tia y tortilla topics. Disponible [www.prodiamex.com/productos/historiadelatortilla/historiadelatortilla.htm](http://www.prodiamex.com/productos/historiadelatortilla/historiadelatortilla.htm)

Fortes, D., Herrera, R. S., González, S., García, M., Romero, A., & Cruz, A. M. (2006). Estudio del efecto de un estimulante del crecimiento en los pigmentos verdes y carotenoides de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115.Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 40(4), 471-475

Flores C. 2006. Estudio de retrogradacion de almidón presente en las tortillas utilizando diversas técnicas, Yutepec Morelos, Instituto Politécnico Nacional.

Hizukuri, S. 1961 X-ray diffractometric studies on starches part VI. Crystalline types of amyloextrin and effect of temperature and concentration of mother liquor on crystalline type., Agriculture Biological Chemistry, 25, 45-49.

Jackson, D.S., Rooney. 1988. Alkaline processing. Properties of stress-cracked and broken corn (Zea mays).

Jugeneheimerw., R. 1981. Maíz. Variedades Mejoradas Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. LIMUSA. México.

L.O. Smith, Jr y S.J.Cristol. 1972. Organic Chemistry. Reindhold publishing corporation Nueva York.

Marsh, R. D. L. 1986. A study of retrogradation of wheat starch systems using x-ray diffraction, food sciences, Nottingham, University of Nottingham, 166.

Paredes L., Guevara L., Bello P. 2009. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Revista ciencias de la UNAM. Primera Edición. Pag 60-71.

Perez V. 2014. Evaluación físico-Química Y sensorial de tortilla nixtamalizada obtenida a partir de maíz blanco (Zea Mays) germinado.

Rahman, M. S., & Labuza, T. P. 1999. Water activity and food preservation. Handbook of food preservation, 339-382.

Rahman, M. S., & Al-Farsi, S. A. 2005. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. Journal of Food Engineering, 66(4), 505-511.

Struik, L. C. 1978 Semi-crystalline systems. Pages 7-57 in: physical Aging in Amorphous Polymers and Other Materials. Elsevier scientific publishing.

Taiz, L y Zeiger, E 2006 plant physiology 4 ed. Sinauer Associates, MA, USA

VIDALES, G. D. 2000 el mundo del envase: manual para el diseño y producción de envases y embalajes. México.

Valero, C., & Ruiz-Altisent, M. (1998). Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas. Fruticultura profesional, (95), 38-45.

Warner, M. 1997. China's HRM in Transitio: Towards RelativeConvergence?. Asia Pacific Business Review, 3(4), 19-33.

Watson, A. S. and Ramstad, E. D. 1987. Structure and composition. In Corn: Chemistry and Technology. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN.

## CAPITULO 7.

### 7. Anexos.

**Anexo 1** Analisis de varianza A x B x C para el día 0, de firmeza.

| ANALISIS DE UARIANZA |    |             |            |         |       |
|----------------------|----|-------------|------------|---------|-------|
| FU                   | GL | SC          | CM         | F       | P>F   |
| BLOQUES              | 4  | 46.232910   | 11.558228  | 0.8074  | 0.533 |
| FACTOR A             | 1  | 785.526855  | 785.526855 | 54.8701 | 0.000 |
| FACTOR B             | 1  | 221.935547  | 221.935547 | 15.5025 | 0.001 |
| FACTOR C             | 1  | 56.834473   | 56.834473  | 3.9700  | 0.053 |
| A X B                | 1  | 67.288086   | 67.288086  | 4.7002  | 0.037 |
| A X C                | 1  | 15.203613   | 15.203613  | 1.0620  | 0.312 |
| B X C                | 1  | 94.801758   | 94.801758  | 6.6220  | 0.015 |
| A X B X C            | 1  | 0.519531    | 0.519531   | 0.0363  | 0.844 |
| ERROR                | 28 | 400.851074  | 14.316110  |         |       |
| TOTAL                | 39 | 1689.193848 |            |         |       |

C.U. = 26.9992%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

| FACTOR A | MEDIA     |
|----------|-----------|
| 1        | 18.445499 |
| 2        | 9.582500  |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

| FACTOR B | MEDIA     |
|----------|-----------|
| 1        | 16.369501 |
| 2        | 11.658501 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR C

| FACTOR C | MEDIA     |
|----------|-----------|
| 1        | 15.205999 |
| 2        | 12.822001 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

| FACTOR A | FACTOR B |         | MEDIA   |
|----------|----------|---------|---------|
|          | 1        | 2       |         |
| 1        | 22.0980  | 14.7930 | 18.4455 |
| 2        | 10.6410  | 8.5240  | 9.5825  |
| MEDIA    | 16.3695  | 11.6585 | 14.0140 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AC

| FACTOR A | FACTOR C |         | MEDIA   |
|----------|----------|---------|---------|
|          | 1        | 2       |         |
| 1        | 20.2540  | 16.6370 | 18.4455 |
| 2        | 10.1580  | 9.0070  | 9.5825  |
| MEDIA    | 15.2060  | 12.8220 | 14.0140 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS BC

| FACTOR B | FACTOR C |         | MEDIA   |
|----------|----------|---------|---------|
|          | 1        | 2       |         |
| 1        | 19.1010  | 13.6380 | 16.3695 |
| 2        | 11.3110  | 12.0060 | 11.6585 |
| MEDIA    | 15.2060  | 12.8220 | 14.0140 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS ABC

| FACTORES A B |   | 1       | FACTOR C<br>2 |
|--------------|---|---------|---------------|
| 1            | 1 | 25.5600 | 18.6360       |
| 1            | 2 | 14.9480 | 14.6380       |
| 2            | 1 | 12.6420 | 8.6400        |
| 2            | 2 | 7.6740  | 9.3740        |

**Anexo 2.**

Analisis estaditico de firmeza, dia 2

ANALISIS DE VARIANZA

| FU        | GL | SC             | CM            | F       | P>F   |
|-----------|----|----------------|---------------|---------|-------|
| BLOQUES   | 4  | 48788.875000   | 12197.218750  | 1.0561  | 0.397 |
| FACTOR A  | 1  | 308214.625000  | 308214.625000 | 26.6880 | 0.000 |
| FACTOR B  | 1  | 143145.750000  | 143145.750000 | 12.3949 | 0.002 |
| FACTOR C  | 1  | 275717.562500  | 275717.562500 | 23.8742 | 0.000 |
| A X B     | 1  | 170377.125000  | 170377.125000 | 14.7528 | 0.001 |
| A X C     | 1  | 249926.062500  | 249926.062500 | 21.6409 | 0.000 |
| B X C     | 1  | 149821.375000  | 149821.375000 | 12.9729 | 0.002 |
| A X B X C | 1  | 161520.000000  | 161520.000000 | 13.9859 | 0.001 |
| ERROR     | 28 | 323366.125000  | 11548.790039  |         |       |
| TOTAL     | 39 | 1830877.500000 |               |         |       |

C.U. = 103.2975%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

| FACTOR A | MEDIA      |
|----------|------------|
| 1        | 191.814941 |
| 2        | 16.254499  |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

| FACTOR B | MEDIA      |
|----------|------------|
| 1        | 163.856506 |
| 2        | 44.212944  |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR C

| FACTOR C | MEDIA      |
|----------|------------|
| 1        | 21.011002  |
| 2        | 187.058456 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

| FACTOR A | FACTOR B |         | MEDIA    |
|----------|----------|---------|----------|
|          | 1        | 2       |          |
| 1        | 316.9010 | 66.7289 | 191.8149 |
| 2        | 10.8120  | 21.6970 | 16.2545  |
| MEDIA    | 163.8565 | 44.2129 | 104.0347 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AC

| FACTOR A | FACTOR C |          | MEDIA    |
|----------|----------|----------|----------|
|          | 1        | 2        |          |
| 1        | 29.7460  | 353.8839 | 191.8149 |
| 2        | 12.2760  | 20.2330  | 16.2545  |
| MEDIA    | 21.0110  | 187.0585 | 104.0347 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS BC

| FACTOR B | FACTOR C |          | MEDIA    |
|----------|----------|----------|----------|
|          | 1        | 2        |          |
| 1        | 19.6320  | 308.0810 | 163.8565 |
| 2        | 22.3900  | 66.0359  | 44.2129  |
| MEDIA    | 21.0110  | 187.0585 | 104.0347 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS ABC

| FACTORES A B |   | FACTOR C |          |
|--------------|---|----------|----------|
|              |   | 1        | 2        |
| 1            | 1 | 30.0860  | 603.7160 |
| 1            | 2 | 29.4060  | 104.0518 |
| 2            | 1 | 9.1780   | 12.4460  |
| 2            | 2 | 15.3740  | 28.0200  |

Anexo 3

Analisis estadístico de firmeza (A x B), día 6

T A B L A D E D A T O S

VARIABLE: firmeza 3 plastico

| A B |   | REPETICIONES |         |         |         |         |
|-----|---|--------------|---------|---------|---------|---------|
|     |   | 1            | 2       | 3       | 4       | 5       |
| 1   | 1 | 38.8300      | 36.0700 | 24.9600 | 35.1500 | 31.1200 |
| 1   | 2 | 26.0300      | 26.3100 | 19.9400 | 29.2800 | 27.0900 |
| 2   | 1 | 15.6000      | 14.5000 | 11.7400 | 16.7600 | 12.3000 |
| 2   | 2 | 17.3300      | 14.7800 | 7.9200  | 11.5300 | 11.8100 |

A N A L I S I S D E U A R I A N Z A

| FU          | GL | SC          | CM          | F       | P>F   |
|-------------|----|-------------|-------------|---------|-------|
| FACTOR A    | 1  | 1288.173828 | 1288.173828 | 88.3095 | 0.000 |
| FACTOR B    | 1  | 101.295898  | 101.295898  | 6.9442  | 0.017 |
| INTERACCION | 1  | 44.849609   | 44.849609   | 3.0746  | 0.096 |
| ERROR       | 16 | 233.392578  | 14.587036   |         |       |
| TOTAL       | 19 | 1667.711914 |             |         |       |

C.U. = 17.80%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

| FACTOR A | MEDIA     |
|----------|-----------|
| 1        | 29.478001 |
| 2        | 13.427000 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

| FACTOR B | MEDIA     |
|----------|-----------|
| 1        | 23.702999 |
| 2        | 19.202000 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

| FACTOR A | FACTOR B |         | MEDIA   |
|----------|----------|---------|---------|
|          | 1        | 2       |         |
| 1        | 33.2260  | 25.7300 | 29.4780 |
| 2        | 14.1800  | 12.6740 | 13.4270 |
| MEDIA    | 23.7030  | 19.2020 | 21.4525 |

#### Anexo 4

Analisis estadistico de humedad A x B x C, dia 0

ANALISIS DE VARIANZA

| FU        | GL | SC       | CM       | F       | P>F   |
|-----------|----|----------|----------|---------|-------|
| FACTOR A  | 1  | 0.000000 | 0.000000 | 0.0000  | 1.000 |
| FACTOR B  | 1  | 0.400002 | 0.400002 | 10.3209 | 0.003 |
| FACTOR C  | 1  | 0.020264 | 0.020264 | 0.5228  | 0.518 |
| A X B     | 1  | 0.000359 | 0.000359 | 0.0093  | 0.921 |
| A X C     | 1  | 0.028084 | 0.028084 | 0.7246  | 0.595 |
| B X C     | 1  | 0.050407 | 0.050407 | 1.3006  | 0.262 |
| A X B X C | 1  | 0.018486 | 0.018486 | 0.4770  | 0.502 |
| ERROR     | 32 | 1.240204 | 0.038756 |         |       |
| TOTAL     | 39 | 1.757805 |          |         |       |

C.U. = 11.3142%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

| FACTOR A | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.740000 |
| 2        | 1.740000 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

| FACTOR B | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.840000 |
| 2        | 1.640000 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR C

| FACTOR C | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.717500 |
| 2        | 1.762500 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

| FACTOR A | 1      | FACTOR B<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.8430 | 1.6370        | 1.7400 |
| 2        | 1.8370 | 1.6430        | 1.7400 |
| MEDIA    | 1.8400 | 1.6400        | 1.7400 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AC

| FACTOR A | 1      | FACTOR C<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.7440 | 1.7360        | 1.7400 |
| 2        | 1.6910 | 1.7890        | 1.7400 |
| MEDIA    | 1.7175 | 1.7625        | 1.7400 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS BC

| FACTOR B | 1      | FACTOR C<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.8530 | 1.8270        | 1.8400 |
| 2        | 1.5820 | 1.6980        | 1.6400 |
| MEDIA    | 1.7175 | 1.7625        | 1.7400 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS ABC

| FACTORES A B | 1      | FACTOR C<br>2 |
|--------------|--------|---------------|
| 1 1          | 1.9040 | 1.7820        |
| 1 2          | 1.5840 | 1.6900        |
| 2 1          | 1.8020 | 1.8720        |
| 2 2          | 1.5800 | 1.7060        |

## Anexo 5

Análisis estadístico de humedad A x B x C, día 2

| ANÁLISIS DE VARIANZA |    |          |          |         |       |
|----------------------|----|----------|----------|---------|-------|
| FU                   | GL | SC       | CM       | F       | P>F   |
| FACTOR A             | 1  | 0.033661 | 0.033661 | 0.5289  | 0.521 |
| FACTOR B             | 1  | 0.420273 | 0.420273 | 6.6040  | 0.014 |
| FACTOR C             | 1  | 0.986008 | 0.986008 | 15.4938 | 0.001 |
| A X B                | 1  | 0.198792 | 0.198792 | 3.1238  | 0.083 |
| A X C                | 1  | 0.001404 | 0.001404 | 0.0221  | 0.878 |
| B X C                | 1  | 0.009567 | 0.009567 | 0.1503  | 0.702 |
| A X B X C            | 1  | 0.015244 | 0.015244 | 0.2395  | 0.633 |
| ERROR                | 32 | 2.036438 | 0.063639 |         |       |
| TOTAL                | 39 | 3.701385 |          |         |       |

C.U. = 13.8153%

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

| FACTOR A | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.797000 |
| 2        | 1.855000 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

| FACTOR B | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.723500 |
| 2        | 1.928500 |

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR C

| FACTOR C | MEDIA    |
|----------|----------|
| 1        | 1.669000 |
| 2        | 1.983000 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB

| FACTOR A | 1      | FACTOR B<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.6240 | 1.9700        | 1.7970 |
| 2        | 1.8230 | 1.8870        | 1.8550 |
| MEDIA    | 1.7235 | 1.9285        | 1.8260 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AC

| FACTOR A | 1      | FACTOR C<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.6340 | 1.9600        | 1.7970 |
| 2        | 1.7040 | 2.0060        | 1.8550 |
| MEDIA    | 1.6690 | 1.9830        | 1.8260 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS BC

| FACTOR B | 1      | FACTOR C<br>2 | MEDIA  |
|----------|--------|---------------|--------|
| 1        | 1.5820 | 1.8650        | 1.7235 |
| 2        | 1.7560 | 2.1010        | 1.9285 |
| MEDIA    | 1.6690 | 1.9830        | 1.8260 |

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS ABC

| FACTORES A B | 1      | FACTOR C<br>2 |
|--------------|--------|---------------|
| 1 1          | 1.4960 | 1.7520        |
| 1 2          | 1.7720 | 2.1680        |
| 2 1          | 1.6680 | 1.9780        |
| 2 2          | 1.7400 | 2.0340        |

## Anexo 6.

Análisis estadístico de humedad A x B, día 4

| ANÁLISIS DE VARIANZA |    |          |          |        |       |
|----------------------|----|----------|----------|--------|-------|
| FU                   | GL | SC       | CM       | F      | P>F   |
| FACTOR A             | 1  | 0.084496 | 0.084496 | 1.9428 | 0.180 |
| FACTOR B             | 1  | 0.011513 | 0.011513 | 0.2647 | 0.619 |
| INTERACCION          | 1  | 0.169285 | 0.169285 | 3.8923 | 0.063 |
| ERROR                | 16 | 0.695877 | 0.043492 |        |       |
| TOTAL                | 19 | 0.961170 |          |        |       |

C.U. = 12.95%

| TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A |          |
|------------------------------|----------|
| FACTOR A                     | MEDIA    |
| 1                            | 1.546000 |
| 2                            | 1.676000 |

| TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B |          |
|------------------------------|----------|
| FACTOR B                     | MEDIA    |
| 1                            | 1.587000 |
| 2                            | 1.635000 |

| TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS AB |          |        |        |
|------------------------------------|----------|--------|--------|
| FACTOR A                           | FACTOR B |        | MEDIA  |
|                                    | 1        | 2      |        |
| 1                                  | 1.4300   | 1.6620 | 1.5460 |
| 2                                  | 1.7440   | 1.6080 | 1.6760 |
| MEDIA                              | 1.5870   | 1.6350 | 1.6110 |

## Anexo 7

Curva de calibración de almidón.

