

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



**“EVALUACION DE VELOCIDAD DE DETERIORO DE TORTILLAS DE MAIZ
OBTENIDAS A PARTIR DE GRANO GERMINADO Y SOMETIDAS A
DIFERENTES TIEMPOS DE ALMACENAMIENTO”**

POR:

RICARDO RAMOS SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para la obtención del título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Diciembre, 2015

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**"EVALUACION DE VELOCIDAD DE DETERIORO DE TORTILLAS DE MAIZ
OBTENIDAS A PARTIR DE GRANO GERMINADO Y SOMETIDAS A
DIFERENTES TIEMPOS DE ALMACENAMIENTO"**

POR:

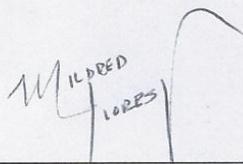
RICARDO RAMOS SÁNCHEZ

TESIS

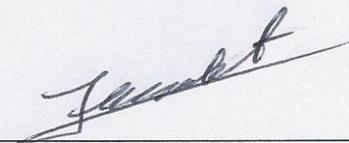
**QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

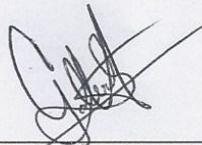
APROBADA POR:



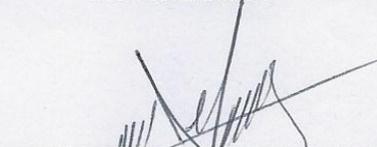
**M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui
ASESOR PRINCIPAL**



**M.C. Sergio Sánchez Martínez
COASESOR**



**Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez
COASESOR**



**Dr. José Dueñez Alanís
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CIENCIA ANIMAL**



Buenavista Saltillo, Coahuila, México, Diciembre del 2015

I. AGRADECIMIENTOS

Primeramente que nada agradezco a mi **Alma Terra Mater, UAAAN** por darme la oportunidad de crecer como individuo por medio de sus enseñanzas y valores.

A mis padres que durante tanto tiempo me han aconsejado sobre las cosas buenas y malas con las cuales me toparé por la vida, como también por hacerme ver que las limitaciones ante cualquier problema, existen solo si uno así lo quiere ver.

A la M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui (mi asesora), le doy las gracias por la confianza prestada y por todos aquellos consejos brindados, así como también su acertada asesora en la investigación realizada en el laboratorio.

Al M.C Sánchez Martínez Sergio por haberme brindado el tiempo necesario así como también su correcta guía al momento de explicarme la manera de cómo interpretar mis resultados obtenidos.

Le doy las gracias a la **Dra. Martínez Vázquez Dolores Gabriela** por su ayuda y tiempo brindado en la revisión de ciertos datos de importancia para mi tesis.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos por brindar el material y reactivos necesarios para poder llevar a cabo este trabajo, así como también al equipo de profesores que lo conforman ya que debido a ellos es que hoy cuento con las herramientas necesarias para desempeñarme profesionalmente en un futuro. Por último, a mi amigo y compañero Samuel Espinoza Espinoza que me brindó su ayuda incondicional durante cierta etapa del laboratorio en la cual trabajé.

II. DEDICATORIA

La dedicación de mi trabajo realizado se lo otorgo a mis padres ya que sin ellos no hubiera alcanzado llegar hasta donde estoy el día de hoy. Gracias por todos aquellos consejos y regaños que me dieron durante mi formación como persona y así como también por su gran apoyo que me han dado, ya que nunca me han negado nada que yo quisiera.

Gracias:

Elena Sánchez Bautista

Y

Roberto Ramos Bernardino

Sin ustedes nada hubiera sido posible ya que muchas veces me faltaban ganas de ir a la escuela y ustedes eran mi ejemplo a seguir ya que lograron ser personas exitosas a pesar de muchos problemas en su infancia.

También le otorgo mi tesis a mi abuela Juana Bautista Carrasco que durante mi infancia me brindó todo su cariño, ya que cada vez que estábamos todos con ella se pasaba un momento de suma alegría en compañía de primos, tías y otros familiares, gracias por enseñarme lo bello que puede ser un lugar sin necesidad de contar con grandes lujos innecesarios.

A mis hermanas, Wandia Cris Ramos Sánchez y Martha Elena Ramos Sánchez que durante muchas veces me aconsejaron o brindaron sus conocimientos durante mi formación como estudiante, ya que muchas veces me encontraba en aprietos y ustedes lograban sacarme adelante bajo su correcta guía.

Así como también dedico esta tesis a mis primos hermanos más cercanos, Alejandro, Carlitos, Chuy, Mintzirani, Zirahuen, Ricardo, Andrés y a mi prima Dani, gracias por todos esos momentos que hemos pasados los cuales han sido inolvidables, los quiero a todos.

INDICE GENERAL

I. AGRADECIMIENTOS	3
II. DEDICATORIA	4
III. RESUMEN	12
1) CAPITULO 1. INTRODUCCION	13
1.1 Justificación	13
1.2 Hipótesis	14
1.3 Objetivo general.....	14
1.4 Objetivos específicos	14
2) CAPITULO 2. MARCO TEORICO	16
2.1 Germinación	16
2.2 Aprovechamiento del grano de maíz	19
2.3 Problemática presente del consumo del grano de maíz y tortillas	25
2.4 Pruebas de vida de anaquel	27
2.5 Pruebas aceleradas de vida de anaquel.....	32
2.6 Velocidad de deterioro	35
3) CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS	39
3.1 Materiales de laboratorio	39
3.2 Material biológico	40
3.3 Equipos y reactivos de laboratorio	40
3.4 Metodología	41
3.4.1 Etapa preliminar.....	41
3.4.2 Etapa 1 Establecimiento de tratamientos	41
3.4.3 Etapa 2 Proceso de nixtamalización.....	42

3.4.4 Etapa 3 Elaboracion de tortillas de maíz	43
3.4.5 Etapa 4 Deterioro de tortillas	45
3.4.6 Determinación de características físico-químicas en las tortillas elaboradas.....	46
3.4.7 Velocidad de deterioro.....	49
3.4.8 Análisis estadístico	51
4) CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSION	52
4.1 Firmeza.....	52
4.2 Color	55
4.3 Humedad	58
4.4 Crecimiento fúngico	61
4.5 Constante de velocidad de deterioro	63
5) CAPITULO 5. CONCLUSIONES	67
6) CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
7) CAPITULO 7. ANEXOS.....	73
7.1 Anexo 1. Etapa preliminar de maíz germinado	73
7.1.1 Remojado del grano	74
7.1.2 Germinado del grano.....	75
7.1.3 Proceso de nixtamalización	76
7.1.4 Elaboración de tortillas	76
7.1.5 Exposición de las tortillas de maíz en cámara bioclimática para someterlas a una temperatura y humedad mayor de las del medio ambiente.	77
7.1.6 Determinación de características físico-químicas en las tortillas elaboradas.....	78
7.2 Anexo 2. Determinación de almidón	79

7.3 Anexo 3. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro firmeza en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento. 83

7.4 Anexo 4. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro color en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento. 85

7.5 Anexo 5. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro humedad en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento. 87

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del orden de reacción	36
Figura 2. Remojado del grano.....	41
Figura 3. Nixtamalización.....	43
Figura 4. Elaboración de tortillas de maíz	44
Figura 5. Deterioro de tortillas.....	45
Figura 6. Determinación de colorimetría en tortillas	46
Figura 7. Determinación de humedad	47
Figura 8. Determinación de firmeza	48
Figura 9. Determinación de hongos	49
Figura 10. Exposición de tortillas en cámara bioclimática	50
Figura 11. Medias del factor 1 para el parámetro firmeza	52
Figura 12. Medias de firmeza en tortilla con grano germinado y sin germinar	54
Figura 13. ANOM normal de dos factores de firmeza	55
Figura 14. Medias de color para factor 1.....	56
Figura 15. Coloración de tortillas con respecto al tiempo.....	57
Figura 16. Medias del factor 1 del parámetro humedad.....	58
Figura 17. Medias de humedad de tortillas con respecto al tiempo	59
Figura 18. Promedios de humedad en tratamientos de tortillas con respecto al tiempo	60
Figura 19. ANOM normal de dos factores de humedad	61
Figura 20. UFC de hongos formadas a partir de muestras de tortillas con grano germinado	62
Figura 21. Hongos en tortillas de maíz germinado.....	63
Figura 22. Firmeza de tortillas en grano germinado y sin germinar	64
Figura 23. Prueba preliminar de maíz germinado	73
Figura 24. Remojado del grano.....	74
Figura 25. Germinado del grano	75
Figura 26. Nixtamalización	76

Figura 27. Elaboración de tortillas.....	77
Figura 28. Exposición de tortillas en cámara bioclimática.....	78
Figura 29. Determinación de almidón	79
Figura 30. Preparación de muestras a analizar.....	81
Figura 31. Gráficas de residuos para firmeza	84
Figura 32. Gráficas de residuos color	86
Figura 33. Gráficas de residuos humedad	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ordenes de reaccion, asi como su información correspondiente	37
Tabla 2. Materiales de laboratorio	39
Tabla 3. Equipos y reactivos de laboratorio	40
Tabla 4. Curva de calibración de almidón	82
Tabla 5. Analisis de varianza firmeza.....	83
Tabla 6. Medias factor 1 y 2 firmeza	84
Tabla 7. Análisis de varianza color.....	85
Tabla 8. Medias factor 1 y 2 color	86
Tabla 9. Análisis de varianza humedad	87
Tabla 10. Medias factor 1 y 2 humedad	88

III. RESUMEN

La velocidad de deterioro de un atributo en un producto, es una pauta para determinar el tiempo de vida útil que éste presenta. En el presente trabajo, fueron determinadas características físico-químicas en tortillas de maíz germinado y sin germinar, siendo éstas: color, firmeza, humedad y velocidad de deterioro en firmeza. Para la obtención del producto terminado, el maíz fue remojado por 24 horas y germinado por un periodo de 192 horas, enseguida se llevó a un proceso de nixtamalización de 30 a 40 minutos como máximo, posteriormente se dejó reposar el maíz por 15 horas, para enseguida ser molido y obtener así la masa necesaria. Las tortillas fueron expuestas a una cámara bioclimática en donde la temperatura y humedad fue elevada 10 °C y 10%, respectivamente más que el valor medio del ambiente. El proceso experimental en la cámara se desarrolló en un lapso de tiempo de 4 horas y media, tiempo en el cual las características físico-químicas fueron analizadas cada media hora.

En lo que respecta firmeza, se observó que las tortillas de maíz germinado (nivel 1) presentan mejores características en comparación de las no germinadas (nivel 2), esto se reafirma, con el factor tiempo el cual no llegó a causar diferencia alguna entre las tortillas. En cuanto a color, el nivel 1 proporcionó mejores resultados de luminosidad que el nivel 2, además el tiempo tampoco fue un factor clave que influyera en el color del producto. Por otro lado la humedad mostró que entre el nivel 1 y 2 no existió diferencia alguna que distinguiera una tortilla de otra, más sin embargo el factor tiempo demostró que si llegaba a influir en las tortillas ya que las del nivel 1 presentaron un ligero porcentaje mayor de humedad que las del nivel 2. Por último la constante de velocidad indicó que en el nivel 1 la pérdida de firmeza era mucho más lenta en comparación del nivel 2.

Palabras claves: maíz, tortillas con maíz germinado y sin germinar, tiempo.

1) CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1 JUSTIFICACION

En lo que respecta al consumo de tortillas en México, se sabe que es de aproximadamente 90 kilogramos por persona en un año. Igualmente las cifras revelan que en el 2014 el consumo de tortilla de maíz se encontró entre los 7.3 y 9.4 millones de toneladas de acuerdo a la información publicada por la Secretaria de Economía y el Consejo Regulador de la Masa.

Se tiene como conocimiento que el producto tortilla es utilizado por familias mexicanas desde tiempos antiguos, siendo así que las exigencias de los consumidores hacia este producto vaya aumentando conforme pasa el tiempo, ya que es consumido por casi un 100% de la población; más sin embargo, por otro lado, se tiene que la enorme demanda existente, ha provocado que se tengan que generar alternativas de producción rápidas y de mala calidad, lo cual ha generado de manera secundaria repercusiones en el sector alimenticio, ya que muchas veces los ingredientes con los cuales son terminados éstos, generan problemas en cuanto a la salud del consumidor y al tiempo óptimo de consumo.

Siendo así que se busque la creación de un producto con características nutricionales óptimas para el consumidor y que al mismo tiempo erradique el problema existente con las tortillas convencionales en cuanto al tiempo de vida útil se refiere, ya que de esta manera, se podría en cierta medida generar menos gastos en la población mexicana a la hora de la adquisición del determinado alimento, debido a que al lograr aumentar la vida de anaquel de éste, no se necesitará desecharlo antes de tiempo y con ello se evitará el despilfarro de dinero por la compra innecesaria de tortillas.

De esta manera se busca con el presente trabajo ayudar a erradicar estos dos problemas mencionados anteriormente, ya que al ser uno de los alimentos principales en la cocina de todo mexicano, es justo que éstos sean de una calidad óptima para el consumidor.

1.2 HIPOTESIS

Las tortillas germinadas como un proceso previo a la nixtamalización presentarán mejores características físico-químicas en comparación con las convencionales, en cuanto a color, humedad y firmeza se refiere.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar la constante de velocidad de deterioro en tortillas germinadas y no germinadas bajo condiciones de temperatura y humedad relativa mayor a la del ambiente promedio.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Germinar grano de maíz por un tiempo de 192 horas a una temperatura promedio de 11.5°C y una humedad relativa promedio de 93.4 %.
- Nixtamalizar el grano germinado y sin germinar con el fin de lograr obtener las tortillas a evaluar.
- Analizar las características físico-químicas: color, humedad y firmeza en las tortillas nixtamalizadas germinadas y sin germinar para monitorear el cambio

que sufren a una temperatura y humedad mayor que las encontradas en el medio ambiente.

- Establecer el tiempo en el cual las tortillas mantendrán sus características organolépticas óptimas para su consumo.

2) CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 GERMINACION

En el siguiente apartado se muestra información relacionada con el proceso germinativo en sí, el cual resulta de gran importancia al momento de querer llevarlo a cabo, ya que de esto dependerá el triunfo o fracaso de dicha etapa.

Hablando de manera generalizada, en lo que respecta a la germinación de semillas, éstas empiezan con la toma de agua (imbibición) para después finalizar con el inicio de la elongación del eje embrionario, principalmente la radícula **(Clarkson, D.T. 1984, citado por Román P.R. 2000)**. Es por ello que diferentes fisiólogos vegetales están de acuerdo en que las semillas han alcanzado su etapa de germinación cuando la radícula protuye a través de la cubierta exterior. Cabe señalar que durante este proceso ocurren diferentes eventos como hidratación de proteínas, cambios de estructuras subcelulares, respiración, síntesis de macromoléculas y alargamiento de células, que si bien entran en dicho proceso, no significa que lo determinen, más sin embargo combinando los efectos que producen, transformarán un embrión en estado de reposo y deshidratado en uno con un metabolismo vigoroso. Mas sin embargo, la germinación en si no incluye el crecimiento de la plántula, ya que este comienza una vez finalizado este proceso **(Bewley, J. D. y Black, M. 1985, citado por Roman P.R. 2000)**.

Ahora, en lo que conlleva al deterioro de las semillas, el cual ha sido causado por el envejecimiento natural o artificial, éste se ve influenciado en la disminución de la germinación, así como también en segundo plano en la velocidad de crecimiento de la planta, y la tolerancia a condiciones adversas **(Anderson J.D.1973, citado por Cruz P.A.B., et.al., 2003)**. Dado lo anterior, el envejecimiento reduce la eficacia metabólica de los endospermos y ejes embrionarios. Siendo así que la

magnitud del daño sea dependiente del grado de tolerancia que posea la semilla **(Cruz.P.A.B., et.al., 2003)**.

También se sabe que el proceso mencionado en el apartado anterior, no se logra llevar a cabo de manera exitosa si no se cuenta con una fuente confiable de H₂O, ésto se debe a que en muchas ocasiones no se tiene un control de la procedencia de la misma o la composición de sustancias que ésta contiene, es por ello que muchas plantas se ven afectadas, debido a que en la mayoría de las veces el agua que se utiliza para riego, presenta sales que producen efectos inhibitorios en la germinación. Dentro de los efectos negativos que produce la presencia de sales se encuentran aquellos en los cuales, éstas logran atraer el agua en el suelo, evitando con ello que las raíces de las plántulas puedan conseguir la humedad que necesitan en condiciones más altas **(Roman P.R. 2000)**.

Teniendo en cuenta lo anterior, se mencionan los diferentes tipos de sales que pueden llegar a extenuar más el proceso como tal, permitiendo así, englobarlas en dos grupos; se tiene en conocimiento que los iones cloruros resultan más inhibitorios que los acetatos sobre la germinación, debido a que generalmente los procesos in vitro de plantas, como lo es la síntesis de proteínas, son más activos, en presencia de iones acetatos; siendo así que los cloruros resulten tremendamente inhibitorios **(Giesen. M. 1976, citado por Roman P.R. 2000)**

Como se ha ya mencionado, las sales que entran de cierta manera en contacto con el material a producir pueden llegar a generar fallos durante el proceso que influirán en gran medida en un posterior futuro.

Por otro lado cambiando de contexto, se tiene detallada la manera en la cual la vigorosidad de la semilla va cambiando según el caso que se presente. En lo que

concierno a la vigorosidad de la materia prima para desarrollarse, se tiene en conocimiento que las semillas de maíz no logran crecer en condiciones adversas de temperaturas, esto es debido, desde un punto de vista técnico, a que aquellas semillas que crecen en condiciones desfavorables, tienden a convertirse en durmientes con el fin de mantener su habilidad germinativa. Sin embargo cuando las condiciones presentes son favorables, éstas pueden llegar a germinar de manera adecuada. Ahora para que dicho proceso de dormancia o germinación se lleve a cabo, deberán interferir diversos factores, tales como la interacción entre hormonas y genes de los vegetales.

Aunque sin embargo, mientras que la actividad de las hormonas vegetales es controlada por medio de la expresión de los genes sometidos a diferentes niveles, existen así también genes vegetales que llegan hacer activados en presencia de hormonas vegetales específicas. Dando así a concluir que el ajuste de la expresión genética, puede llegar a convertirse en un camino efectivo para la mejora germinativa de este grano **(Miransari M.y Smith L. 2014)**.

Por ejemplo, en el estudio de fitohormonas se tiene en conocimiento una en particular llamada giberelina, siendo ésta una fitohormona esencial, ya que controla muchos aspectos del desarrollo de una planta. Dentro de los análisis llevados a cabo por un grupo de investigadores, se encontró que la expresión de transcripción de 15 genes metabólicos de giberelina pueden ser detectados durante el proceso germinativo de las semillas de maíz, siendo así, que exista evidencia sustentable para afirmar que el incremento de giberelina en el embrión del maíz, es requerido para desencadenar los eventos futuros de germinación **(Song.J.,et.al., 2011)**.

De la misma manera, otro factor importante de estudio, es la insulina la cual ha sido reportada como un acelerador de la germinación y también como un inductor

del crecimiento de semillas. Está se encarga de la estimulación de la transcripción de ADN y el procesamiento de pre-rARN. Siendo así que ésta llegue a acelerar el proceso normal de germinado en un 75% a un tiempo de 24 horas. Más sin embargo, no todas las proteínas ribosomales son reguladas de la misma manera, ya que la biogénesis ribosomal en las primeras etapas de inmersión es llevada a cabo con rARN recién sintetizado y las proteínas ribosomales traducidas a partir de mARN almacenado **(Villa.H.J.M., et.al., 2013)**.

Ahora, de igual importancia como es el estudio de hormonas en el germinado de granos, lo es también la investigación a nivel celular para tener así un juicio claro en cuanto a lo que está pasando internamente. Siendo así que se plantee lo siguiente:

En cuanto a las estructuras de nivel celular, se tiene como dato que la biogénesis ribosomal es un prerrequisito para el crecimiento y proliferación celular, siendo así, que éste sea un proceso en el cual se llegue a consumir una gran cantidad de energía. Es por ello que se deberán de establecer las condiciones adecuadas al medio de cultivo para que dicho proceso no retarde la germinación **(Villa.H.J.M., et.al., 2013)**.

2.2 APROVECHAMIENTO DEL GRANO DE MAIZ

Tomando en cuenta lo desglosado anteriormente, esto da a entender que el grano como tal, muchas veces necesitará de procesos extras que ayuden a mantener la vigorosidad de éstos para así poder ser aptos para el consumo. Es por ello que de igual importancia, se presenta ahora un desglose de los temas con mayor realce en éste contexto determinado.

Tal es el ejemplo de la palabra nixtamalización, castellanizada del náhuatl *nextli* (cal de cenizas) y *tamalli* (masa de maíz cocida) el cual significa maíz cocido con sales de cenizas o cal. En sus inicios para la nixtamalización se usaban cenizas volcánicas (proceso clásico de nixtamalización), pero actualmente se usa hidróxido de calcio (proceso tradicional de nixtamalización). Con el proceso tradicional de nixtamalización del maíz se elimina buena parte del pericarpio, por lo tanto el consumo de tortillas aporta poca fibra dietética. A su vez, los residuos de dicho proceso de nixtamalización y los lavados del maíz generan gran cantidad de líquidos de desecho (nejayote) altamente contaminantes, esto se debe a que tienen una demanda química de oxígeno muy elevada. Debido a lo anterior ya mencionado, se ha optado por buscar alternativas de procesos de nixtamalizado que no perjudiquen al medio ambiente como lo ha venido haciendo hasta la fecha el compuesto (Ca (OH)₂). **(Bello.P.L.A.et.al., 2014).**

Ahora teniendo en cuenta lo descrito con anterioridad, se ha optado por encontrar una posible solución a este problema, que resulta favorable con el medio ambiente, se trata de la sustitución del hidróxido de calcio por sales de calcio, este proceso además de contribuir en lo ya mencionado, presenta otras características llamativas hacia el consumidor. Dentro de los beneficios que llegan a tener los procesos de nixtamalización por este método, se encuentra que la elaboración de tortillas tradicionales con carbonato de calcio ayuda a reducir el contenido de humedad presente en el producto.

Por otro lado, la tortilla nixtamalizada con carbonato de calcio presenta mayor contenido de fibra dietética, con el más alto nivel de fibra dietética insoluble. Se tiene conocimiento que la fibra insoluble parece acelerar el paso de los alimentos a través del estómago y los intestinos, agregando también así, volumen a las heces, generando con ello una mayor calidad de vida al consumidor **(Bello.P.L.A.et.al., 2014).**

Por otro lado, siendo de igual importancia, dentro del contenido de almidón rápidamente digerible que se encuentra presente en la tortilla, se sabe que la tortilla nixtamalizada con carbonato de calcio, disminuye durante el almacenamiento este parámetro. Por el contrario en un proceso de elaboración de tortilla fresca tradicional, ésta presentará el mayor contenido de almidón lentamente digerible. Además las tortillas tradicionales frescas y las de carbonato de calcio tienen una predicción baja para el índice glicémico (pGI) con respecto a la tortilla comercial. Cabe mencionar, que este proceso de nixtamalizado trae consigo mismo, efectos positivos en la salud humana **(Bello.P.L.A.et.al., 2014)**.

Como se ha visto, existen los métodos alternativos para generar un producto más apto para el consumidor. Más sin embargo éste no es el único problema al cual se enfrenta el producto en particular ya que la tortilla al igual que los productos con base en almidón, se endurece durante el almacenamiento, conllevando a ello que haya una aceptación negativa por parte del consumidor. Este endurecimiento se debe a la retrogradación del almidón, que se inicia tan pronto la tortilla comienza a enfriarse. La velocidad de retrogradación del almidón, es determinada por factores como la proporción de amilopectina:amilosa, el contenido y la interacción de lípidos con la amilosa, y la longitud de las cadenas de la amilopectina entre otros; los cuales son determinados en todos los casos por la fuente botánica del almidón, pero también por las condiciones de almacenamiento de los productos ricos en este polímero **(Fernández et al., 1999,citado por Salinas M.Y. 2011)**.

El problema anteriormente planteado puede ser debido a una causa específica, la cual es el tipo de materia prima utilizada para la producción de tortilla. Tal es el caso del maíz tipo dentado, el cual es el que comúnmente se destina a la elaboración de tortillas. Presenta en su almidón una relación amilopectina:amilosa de 75:25 **(Watson S.A. 2003,citado por Salinas M.Y. 2011)**.

La cinética de retrogradación de estas fracciones es diferente y ha sido ampliamente estudiada, por su importancia en la industria de alimentos, ya que constituye una de las principales causas del deterioro de los productos con base en almidón. Se sabe que la amilosa retrograda más rápido que la amilopectina, y que la retrogradación de esta última es parcialmente reversible con calor, no así la de la primera **(Rooney L. W. y Suhendro E. L. 1999, citado por Salinas M.Y. 2011).**

El problema anterior es sin lugar a duda algo con lo que se tiene que luchar día a día, siendo el caso que la tortilla tenga una producción anual alrededor de los 12 millones de toneladas. Más sin embargo, existen familias de bajos recursos económicos que les resulta en cierta medida difícil la adquisición de este producto cada cierto tiempo, es por ello que muchas optan por almacenar el producto que sobró. Esto se realiza mediante el uso de sistemas de refrigeración. Cabe recalcar que al recalentar la tortilla nuevamente no se tendrán características de una recién elaborado. Es por ello que se implementado el uso de gomas, las cuales permitirán en gran medida obtener características de un producto recién elaborado, como son: suavidad, flexibilidad, mantenimiento de la humedad entre otras, como la mejora del troquelado durante el laminado. **(Román B. J.A.,et.al., 2006).**

Más sin embargo, si bien se conoce el efecto positivo de estas gomas en esta área, no se puede decir lo mismo de ellas en cuanto a características de manejo de masas y coloración de la misma, ya que al adicionar en una mezcla maíz normal y un porcentaje mayor de 30% de maíz ceroso se conduce a tener masas excesivamente adhesivas, además de que el color se ve afectado debido al decrecimiento de la luminosidad, conllevando a ello que la apariencia de las tortillas sea más cristalino en medida que se incrementa la proporción maíz ceroso, aunque para fines prácticos de alimentación y economía puede ser de gran ayuda **(Salinas M.Y.,et.at., 2011).**

Pasando a otro tema de deterioro, existe otro factor que llega a marcar diferencia significativa entre un producto apto y uno no apto, este es el caso del agua libre y agua ligada.

Dentro de cualquier producto alimenticio existe agua libre y agua ligada, siendo el agua disponible uno de los principales problemas del deterioro de alimentos. Esto se debe a que ésta es la que llega a tener movilidad y estar disponible para participar en reacciones de deterioro del alimento. Se sabe que la adición de glicerol (4% p/p) y sal (1% p/p), cambian en cierta medida las propiedades del agua que se tienen originalmente en algún producto. En base a ello se menciona que la adición de ambos disminuirá significativamente el contenido de agua congelable en las tortillas. Esto resulta verdaderamente favorable ya que se logrará aumentar el periodo de vida de anaquel. **(Vittadini E., et al., 2003).**

Por último, otro factor que llega a marcar gran realce en los granos de maíz es el microbiológico, ya que éstos pueden llegar a dañar toda una producción, generando con ello pérdidas económicas.

Ahora, es bien sabido que el maíz se cosecha todo el año bajo diversas condiciones climáticas. Por lo tanto, el cultivo, cosecha y manejo de poscosecha varía de acuerdo a la zona geográfica, afectando con ello la calidad de las tortillas. Los granos como el maíz, son invadidos por hongos durante su desarrollo en el campo, así como durante su transporte y almacenamiento. Por lo tanto, uno de los factores de modificación de calidad de la tortilla es la contaminación por micotoxinas debido a la invasión por ciertas especies de hongos, entre ellos *Aspergillus flavus*, comúnmente en los granos de maíces ya sea antes o después de la cosecha durante el almacenamiento. *Aspergillus flavus* es responsable de la producción de una serie de sustancias altamente tóxicas, del cual deriva su nombre, las aflatoxinas. **(Mendez A.J.A., et al., 2002).**

Sin lugar a dudas el problema planteado anteriormente es algo que hasta la fecha no se ha logrado erradicar del todo. Más sin embargo, el desarrollo de tecnologías innovadoras puede en cierta medida detectar aquellas fallas de calidad en el producto que un humano a simple vista es incapaz de detectar.

Por ejemplo, existen nuevas tecnologías que brindan un mejor criterio al momento de selección de calidad de las tortillas procesadas. Tal es el caso del uso de la inspección-visión automatizada para llevar a cabo dicho fin, sin embargo no se ha adoptado al 100% el uso de esta tecnología ya que existen empresas en que el control de calidad de producción de tortilla sigue siendo llevada a cabo mediante operarios humanos, trayendo como consecuencia que se comentan errores debido a la subjetividad y la fatiga presentada (**Domingo M.,et.al., 2010**).

Para poder disminuir la necesidades de operadores humanos y por lo tanto los errores en la clasificación, se desarrolló un programa de visión computarizada para clasificar automáticamente la calidad de las tortillas de maíz, de acuerdo a cinco subclases hedónicas brindadas por un panel sensorial.

El modelo del equipo opera con un algoritmo de selección. Éste determina a su vez las características que resultan relevantes para la clasificación de las cinco subclases. Por otro lado solo 64 características son las que necesitará el equipo para el diseño clasificador de las cinco subclases, soportado por vectores. Una validación cruzada con un desempeño del 95% se necesitó. Adicionalmente, se utilizan solamente 10 de las características seleccionadas y un simple clasificador estadístico, con esto, es posible determinar el origen de las tortillas con una certeza del 96%. Por lo consiguiente se cree que el clasificador propuesto abre una posibilidad en el campo de la inspección automatizada visual de tortillas. (**Domingo M.,et.al., 2010**).

2.3 PROBLEMÁTICA PRESENTE DEL CONSUMO DEL GRANO DE MAIZ Y TORTILLAS

Abarcando lo que es la problemática que gira en torno al producto que se ha estado mencionando, se tiene que el maíz, además de poseer un fuerte contenido socio-cultural, es el alimento básico en nuestro país, que de forma tradicional se consume como tortilla. El consumo se ha transformado en los años recientes por el cambio de la elaboración de tortilla a partir de nixtamal a la forma harinizada. Ello dio lugar a fuertes pugnas a principios de los años noventa entre el sector de molineros-nixtamaleros y la industria harinera. En el periodo 1950-1970 el rostro agrario del país cambió a uno cada vez más urbano en términos de distribución de la población; al mismo tiempo que ésta se duplicó. El proceso se aceleró en los años noventa, produciéndose un cambio estructural en la composición del consumo. En efecto, la demanda urbana aumentó y se diversificó, entonces el consumo alimentario incorporó bienes industrializados en una proporción cada vez mayor. Sin embargo el consumo de la tortilla continúa siendo una constante en la dieta nacional, y en los últimos años ha aumentado el consumo de maíz industrializado en sus diversas formas. **(Massieu T.Y. y Lechuga M. 2002).**

Por otro lado, en lo que respecta la autosuficiencia alimentaria en términos del maíz, ésta se ha roto desde que la agricultura empezó a padecer conflictos desde los años sesenta y además entre otros factores, por los cambios en la demanda alimentaria que se tienen. El proceso de urbanización trajo el aumento de productos cárnicos a la población, provocando con ello el consecuente desplazamiento del grano de maíz en México para ser utilizado como forraje principalmente. De la misma forma, las importaciones provenientes de Estados Unidos, atendieron la demanda para fines industriales (aceites) desarrollándose el consumo de productos harinizados (botanas y tortilla de harina). Sin lugar a dudas, la tortilla suministra más de la mitad de las calorías y la tercera parte de las

proteínas consumidas por la población. Las cifras se incrementan en el sector rural a 65% de las calorías y entre 50 y 70% de las proteínas.

Ahora, cabe recalcar que el gremio molinero esgrimió argumentos desde el punto de vista nutricional para impedir que se favoreciera el uso de harinas como ingrediente principal de elaboración de tortillas, se planteó que este producto posee menos propiedades que la del grano. Esto se debe a que las harinas presentan menor contenido de calcio y fibra, además de que existe una pérdida de proteínas debido a las altas temperaturas de los procesos industriales. **(Massieu T.Y. y Lechuga M. 2002).**

Mientras tanto, conjugando la problemática con el contenido nutricional de una tortilla, a ésta se le pueden atribuir problemas de salud presentes en los consumidores. La prevalencia de obesidad en niños (menores de 5 años) se ha incrementado en los últimos años. En México, de acuerdo a la Encuesta Nacional de Nutrición 2012 (ENN 2012), menciona un ligero ascenso a lo largo del tiempo, casi 2 puntos porcentuales de 1998 a 2012 (de 7.8 a 9.7% respectivamente). El principal aumento se registra en la región norte del país, donde se alcanza una prevalencia de 12% en 2012, 2.3 puntos porcentuales arriba del promedio nacional.

Se menciona también que para el 2012, 26 millones de adultos mexicanos presentan sobrepeso y 22 millones obesidad. Estas cifras indican claramente un reto muy importante para el Sector Salud en términos de promoción de estilos de vida saludables en la población y desarrollo de políticas públicas para revertir el entorno obesigénico **(Pablo.G.J., et.al., 2012).**

El exceso de grasa corporal que caracteriza a niños y adultos con obesidad se debe a la presencia combinada de factores genéticos y ambientales, que resulta

de la ingestión de energía que excede al gasto y los requerimientos para el crecimiento durante un período prolongado de tiempo. Este exceso puede ser pequeño pero su persistencia a través del tiempo puede llevar a obesidad. **(Romero V.E.,et.al., 2006)**. Así como también la ingesta de bebidas con aporte calórico, mayor tamaño de porción de alimentos, vida sedentaria y un ambiente de constante promoción del consumo de productos no saludables **(Pablo.G.J., et.al., 2012)**.

Por último, la información desglosada con anterioridad permite evidenciar que las tortillas procesadas a base de harina no resultan nutricionalmente muy convenientes, ya que se tiene en conocimiento que éstas carecen de algunos macro y micro nutrientes en diversa medida. Ahora si bien es sabido, esto también impacta en un problema de obesidad con respecto a los productos comercializados actualmente. **(Romero V.E.,et.al., 2006)**.

2.4 PRUEBAS DE VIDA DE ANAQUEL

Es bien sabido, que las pruebas de vida de anaquel son definidas como el tiempo en el cual algún producto, generalmente envasado, logrará conservarse en condiciones adecuadas para su posterior consumo o venta. Existe también otro concepto que es utilizado en la comercialización de alimentos, incluyendo los productos de panificación, se trata de la vida útil, ésta se define como el tiempo en que los productos durante su embalaje pueden llegar a ser comercializados en determinadas condiciones de almacenamiento, siendo ésta, menor que la vida de anaquel **(Bancomext aplicaciones glosario, en línea 2004, Glossary-Food Processing Technology, en línea, 2006, citado por Beltran O.M. del C. 2007)**.

También, se tiene que la refrigeración es la mejor manera para conservar las tortillas. Más sin embargo, ésta no resulta en la actualidad una práctica exitosa

debido a que los consumidores las prefieren frescas, siendo así que los fabricantes preocupados por este problema, generen métodos alternativos a fin de prevenir daños bacteriológicos. El medio que resulta más económico para incrementar la vida útil de la tortilla es el mantenimiento del pH de la misma en un rango alcalino (>9). Sin embargo esto acarreará propiedades indeseables en el producto, tales como color amarillento intenso y un sabor amargo (característico a la cal) **(Téllez G.A. 1988, citado por Martínez F.H.E., et.al., 2000)**.

Por lo consiguiente como medida alternativa a lo tratado anteriormente, para la extensión de la vida útil de un producto, se procedió al uso de conservadores para dicho propósito. El estudio de estos agentes se realizó también por la razón de que en realidad existe poca información acerca del impacto que pudieran tener estos en relación al tratamiento del aumento de la vida de anaquel de las tortillas, esto según la FDA **(Téllez G.A.1988,citado por Martínez F.H.E.,et.al., 2000)**.

De esta manera, recapitulando lo anterior, el uso de conservadores en el producto final puede llegar a proporcionar ventajas en cuanto a la conservación del mismo se refiere, ya que se tiene reportado que el uso de éstos, puede aumentar la vida útil en un plazo mayor a 3 días de lo normal; más sin embargo se dice que al adicionar una mezcla de conservadores el efecto sobre el producto terminado es aún mejor **(Martinez F.H.E.,et.al., 2000)**.

En lo que concierne otra medida con la cual aumentar la conservación del producto como tal, se tiene que para la conservación de los productos alimenticios procesados se debe de utilizar distintos tipos de empaque que permitan que la vida de anaquel de estos se alargue. De esta manera se ha optado por investigar métodos que permitan a la vez reducir costos de empaque pero que a la vez logren conservar las características de calidad de los mismos.

Para ello, se tiene en conocimiento el uso de diferentes películas plásticas para preservar la frescura de los alimentos, tal es el caso del uso de materiales como PEBD y PVC para dicho fin, encontrando que el mejor tratamiento que reducía la pérdida de peso y el deterioro en el producto fue aquella en donde se utilizó PEBD, poniendo así en evidencia el uso de nuevas tecnologías que en un futuro pudieran ser utilizadas para preservar productos alimenticios. (**Castro J.V.,et.al., 2003**).

Sin embargo, existe también un estudio, el cual se basa en el trabajo de productos empacados con un sistema termoformado. Los cuales a la hora de reducir su tamaño cerca de un 20% no llegan a afectar los estándares de vida de anaquel de los productos. En cuanto a la textura, color y capacidad de retención de agua alcalina se refiere, este tipo de material muestra resultados comparables tanto para empaques convencionales como para el de grosor reducido (**Licciardello Fa.,et.al., 2014**).

Otro tipo de tecnología que se usa en el empaqueo, consiste en el uso de plásticos biológicos para la elaboración de empaques de atmósferas controladas, éstos, presentan una barrera de gases suficiente para garantizar la vida de anaquel de los productos alimenticios. Demostrando con ello que este proceso puede llegar a ser una alternativa favorable en cuanto a la vida útil se refiere (**Peelman N.,et.al., 2014**).

Dentro de otros métodos que se utilizan para aumentar la vida de anaquel de determinados productos, se encuentra el uso de atmósferas modificadas. Este consiste en empaque los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en éstos, el ambiente gaseoso se ha modificado con el fin de disminuir el grado de respiración, el crecimiento microbiano, así como también el retraso del deterioro enzimático, con el fin de alargar de esta manera la vida útil del producto. Ahora dependiendo de las diferentes exigencias que presentes los

productos a envasar, se requerirá por ende, unas atmosferas con ambientes ricos en CO₂ y pobres en O₂, estos compuestos reducen el proceso de respiración llevado a cabo en los productos, generando con ello, la conservación de características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo. Las atmósferas gaseosas cambian constantemente durante todo el periodo que dura el almacenamiento, ésto debido a la influencia de diferentes factores, siendo algunos de ellos la respiración del producto envasado y cambios bioquímicos **(Ospina M.S.M y Cartagena V. 2008)**.

Por otra parte en los métodos que se han desarrollado para predecir la vida útil de un producto, existen aquellos que se basan en pulsos eléctricos con sensores de óxido, metal y gas. Tal es el caso del estudio realizado a un determinado volumen de rodajas de papas fritas, en el cual se encontró que 4 sensores resultaron más específicos en cuanto a la detección de compuestos orgánicos que generaban estas papas. En ello se demostró que el producto evaluado, contenía una vida de anaquel de 3 días. Esto indica la eficiencia de esta metodología y además predice rápidamente la vida útil de algún producto que esté procesado a base del freído.

El uso de esta tecnología es extensamente utilizada por las industrias alimenticias, esto con el único fin de que el proceso llevado a cabo en sus diferentes áreas, resulten eficaces y convenientes, además de que sirve para evaluar la frescura y el control de los procesos de cocción **(Chatterjee D., et.al., 2014)**.

Se sabe que aparte de los métodos señalados anteriormente existen otras maneras no tan conocidas que llegan a conservar el producto de manera adecuada. Por ejemplo:

Los recubrimientos comestibles de almidón de mandioca-quitosano, con una mezcla de genotipos de *Lippia gracilis Schauer* ayudaron a aumentar la vida de anaquel del producto, ya que las guayabas evaluadas presentaron una respuesta inhibitoria sobre el crecimiento de la mayoría de las bacterias. Es por ello que dado los resultados obtenidos en cuanto a la inhibición y disminución de determinados patógenos, resulta conveniente el uso de estos tratamientos para aumentar la vida de anaquel de algún producto **(Bezerra de A.A., et.al., 2015)**

Por último para finalizar este tema, se tiene un estudio el efecto de masas fermentadas obtenidas a partir de una bacteria ácido láctica, la cual es productora de un exopolisacárido, siendo de vital importancia en el estudio de calidad y sobre todo en la vida útil de un producto. En base a ello se tiene que aquellas masas preparadas con 30 g/100g de masa fermentada presentan impactos negativos en las propiedades de la calidad del pan, esto en ausencia de las cepas de las bacterias ácido lácticas productoras de exopolisacárido, más sin embargo al adicionar dichas cepas productoras de este carbohidrato, las muestras de pan a concentraciones de 30g/100g de masa fermentada, presentan un mejoramiento en sus características en cuanto a vida útil se refiere , tales como: volumen, humedad y mejoramiento de las propiedades mecánicas durante el almacenamiento **(Torrieri.E., et.al., 2014)**.

Para determinar este lapso de tiempo en que los productos se conservan adecuadamente, existen diferentes formas que lograrán llegar a dicho fin. Dentro de las pruebas que se llevan a cabo, se tiene conocimiento de aquellas en las que el almacenamiento juega un papel importante. Tal es el caso de la eficacia que presentan tres diferentes productos durante este periodo de acopio, como son: sin material de empaque, en caja de poliestireno y en bolsa de polipropileno. Para este estudio se evaluó el producto de mantecadas bajas en grasas y han sido comparados los resultados con aquellos obtenidos para mantecadas con contenido completo de grasa **(Beltran.O.M. del C., et.al., 2007)**.

2.5 PRUEBAS ACELERADAS DE VIDA DE ANAQUEL

Como reseña se tiene que en México, la tortilla de maíz es el principal alimento ancestral, y su consumo per cápita es de 120 kg aproximadamente, siendo así una de las industrias más importantes a nivel nacional. Generalmente éste producto es consumido el mismo día de su compra debido al alto contenido de Aw que presenta (0.94 a 0.98), convirtiéndolo así en un producto susceptible a daños por microbios. Después de un almacenamiento de 48 h a temperatura ambiente, se observa la aparición de mohos y levaduras. Es por ello que la AW deberá ser un rango a evaluar debido a que los hongos empiezan a crecer con un valor de 0.70 en adelante, además su temperatura de crecimiento oscila entre 25 y 30 °C y el límite máximo entre 40 y 45°C. Más sin embargo al ser la temperatura otro rango de estudio, se deberá tener entonces en consideración, el límite máximo que podría llegar alcanzar y poder así realizar los métodos de pruebas de vida de anaquel aceleradas (ASLT), ya que si se utilizan valores por arriba de los 45°C en tal metodología, pondría en riesgo la aparición de microorganismos de deterioro en el producto **(Labuza y Schmidt, 1985, citado por García V.J. y Tantaleán J. 2008).**

Con respecto a las pruebas aceleradas se tiene, que son todos aquellos procesos que ayudarán a conocer el tiempo de vida útil que llegará a tener un producto una vez que ha sido cosechado, almacenado o procesado. Esto se logra mediante la exposición de la muestra a diferentes tipos de temperaturas. Estas temperaturas deben ser mayores a las de almacenamiento y comercialización con el fin de lograr que las reacciones de deterioro se aceleren y puedan obtenerse resultados en un periodo de tiempo más corto **(Labuza y Schmidt, 1985, citado por García V.J. y Tantaleán J. 2008).**

No obstante, las pruebas realizadas en el laboratorio simularán en gran medida las condiciones reales bajo las cuales está sometido el producto, sin embargo resulta difícil controlar ciertas variables como son el transporte, cambios de presión, fluctuaciones en la temperatura, entre otras, conllevando con esto a que sean difíciles de duplicar. Por lo tanto los resultados que se obtengan serán estimaciones de la vida útil que podría llegar a tener en todo caso un alimento **(García B.C 2008)**.

En relación a lo anterior, también se puede acelerar el deterioro del producto con la ayuda del efecto de luz, de manera que se extienda el tiempo o intensidad de exposición, esto siempre y cuando, el tipo de empaque con el cual este diseñado el producto no sea de colores oscuros **(Kuntz, 1996, citado por Cordón O. J.A. 2007)**.

Además cabe recalcar que para poder establecer de manera apropiada estas pruebas hay que tomar en cuenta diversos factores tales como: el tipo de diseño estadístico a trabajar, realizar las respectivas mediciones por duplicado o triplicado para evaluar las desviaciones de las muestras, y así, poder evaluar de manera más apropiada la vida útil **(Labuza y Schmidt, 1985, citado por García B.C.,et.al., 2011)**.

Ahora bien, por lo que se refiere a estudios relacionados con pruebas aceleradas de vida de anaquel se tiene sabido que existe dentro de la literatura información valiosa sobre los estudios que se han realizado en diversos productos, donde cabe mencionar, que la temperatura es un factor que debe establecerse con sumo cuidado, ya que de lo contrario al momento de establecer resultados estos podrían ser ambiguos. Éste parámetro deberá mantenerse una temperatura no máxima de 65°C debido a que si se sobrepasa dicho valor la estimación de la vida útil no será predecible, debido a que al sobrepasar estas temperaturas, se presentarán

reacciones secundarias en cadena que no lograrán controlarse, es por ello que no se trabajará con valores que oscilen con temperaturas altas fuera de los recomendados. **(Ragnarsson J.O. y Labuza T.P 1976).**

Por otra parte, **Kuntz 1996, citado por Cordón O. J.A. (2007)**, hace mención a tres principales factores que se utilizan para acelerar las reacciones de degradación de alimentos. La temperatura puede ser incrementada dentro de ciertos límites por arriba de las condiciones comunes de almacenamiento, siendo los rangos típicos, para productos congelados de -6 a 0 °C, para productos refrigerados de 7 a 10 °C y de 29 a 49 °C para productos almacenados a temperatura ambiente.

Para finalizar con este punto, se sabe que la determinación de vida útil bajo condiciones aceleradas es determinado por un cierto parámetro matemático. Éste ayuda a determinar en sí el tiempo en que el producto seguirá siendo óptimo para el consumidor.

Relacionado con lo anteriormente mencionado, el factor Q10 es aquel que determina el número de veces que una reacción de deterioro se acelera cuando el cambio de temperatura no supera los 10 °C o se mantiene entre dicho rango, es decir que evalúa la velocidad de las reacciones de deterioro cuando la temperatura está en constante movimiento entre un rango de 10 °C. Este factor se deberá evaluar en diferentes rangos de temperaturas. El valor puede ser obtenido a partir de la información que se recolecte de los ensayos de almacenamiento realizados **(Castellanos G.R. y Cifuentes V.M. 2006).**

Este modelo nos ayudará a saber que tan rápida puede ser una reacción, incluyendo a altas temperaturas. Una vez que dicho factor es proporcionado, este

puede ser extrapolado para temperaturas más bajas (**Bienvenido Z.R. y Román M.D.J. 2013**).

2.6 VELOCIDAD DE DETERIORO

Uno de los modelos más utilizados actualmente para determinar la vida de anaquel de algún producto, es el modelo de Arrhenius, éste ha sido desarrollado teóricamente para reacciones químicas moleculares reversibles, su aplicación radica en reacciones químicas complejas y fenómenos físicos; las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos han mostrado que siguen un comportamiento tipo Arrhenius con una determinada temperatura (**Chica C.B.A., et.al., 2003**).

En lo que respecta al deterioro de los alimentos, éstos siguen modelos de orden cero a uno, siendo así que en aquellos con un alto contenido de grasa o lípidos predominan las reacciones de oxidación y estas siguen un comportamiento de orden cero (**Labuza, 1984; Labuza, 1985; Pozo, 1992; Casp, 1999, citado por García B.C., et.al., 2008**).

Dichos ordenes pueden ser identificados debido a la forma en que se comportan en una gráfica, siendo que en el caso del orden 0, éste se presenta con forma de línea recta, mientras que el orden 1 de línea curvada, dichos ordenes son mejor apreciados en la Figura 1. (**Anzueto.C.R. 2012**).

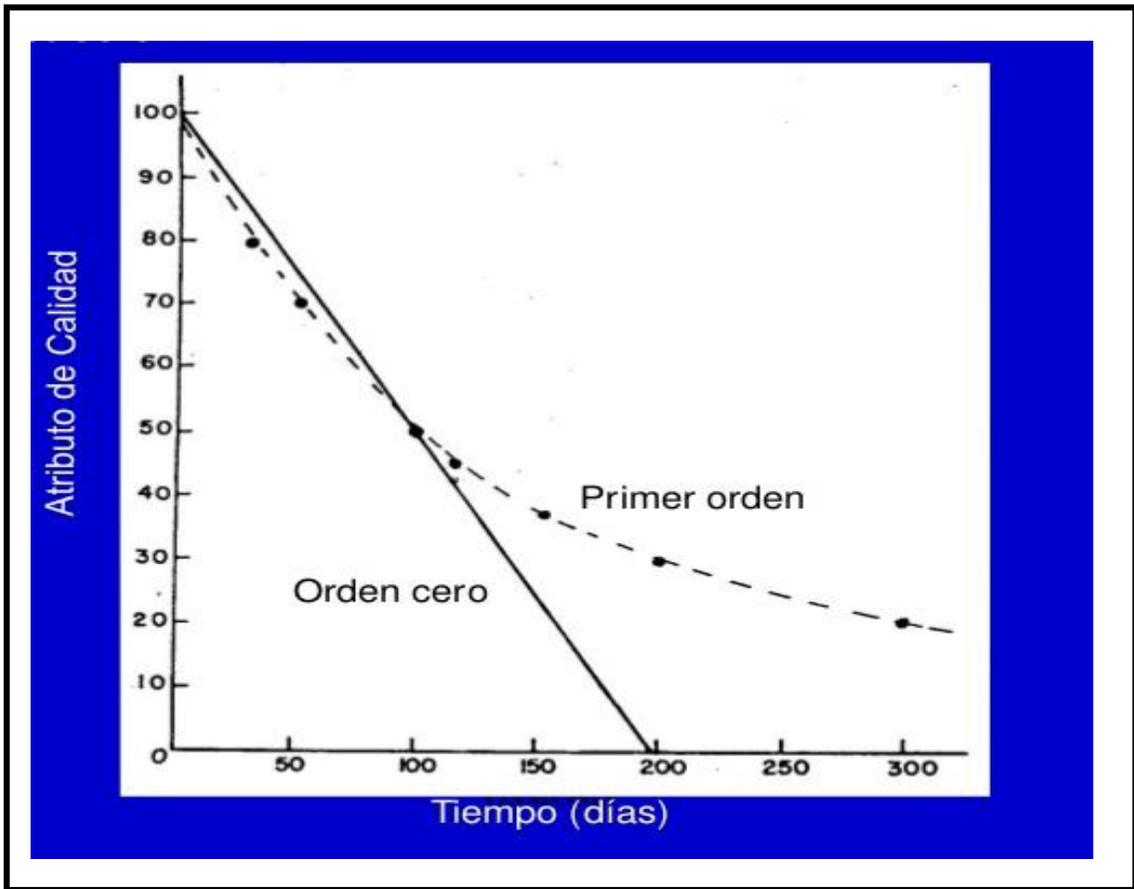
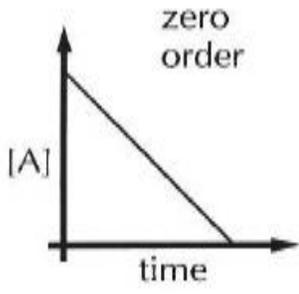
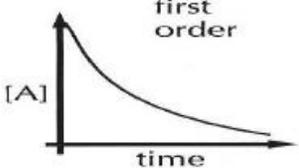
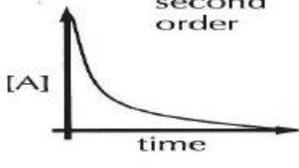


Figura 1. Comportamiento del orden de reacción

Tabla 1. Ordenes de reacción, así como su información correspondiente

Orden (n)	Comportamiento gráfico	Ecuación	Atributo
0	 <p>zero order</p>	$A_0 - A_t = kt$	Alimentos con alto contenido de grasa o lípidos (predominan reacciones de oxidación, color, índice de acidez, sabor, olor, textura y viscosidad)
1	 <p>first order</p>	$\ln(A_0/A_t) = kt$	Color, pérdida de capacidad proteica en alimentos deshidratados
2	 <p>second order</p>	$(1/A_t - 1/A_0) = kt$	Índice de peróxido

(Torrez. A., *et.al.*, 2001, Rojas P.C., *et.al.*, 2010, Valencia. G.F.E., *et.al.*, 2012., R. Sánchez., *et.al.*, 2013)

El modelo para la reacción de orden cero se presenta en la ecuación 1:

(1) $-(dX/dt)=k$

Integrando la ecuación y reacomodando, se tiene la ecuación de una línea recta con pendiente k ; siendo k la constante específica de reacción y cuyo valor depende de la temperatura.

Dependencia de la temperatura

Puesto que la constante de velocidad de reacción es función de la temperatura, esta dependencia es descrita por la ecuación de Arrhenius que describe la relación de la constante de velocidad de reacción con la temperatura según la ecuación 2:

$$(2) k = Ae^{(-E_a / RT)}$$

Donde al aplicar logaritmos a ambos lados de la ecuación se obtiene la ecuación de una línea recta con pendiente E_a/R , tal y como se expresa en la ecuación 3 en donde el término E_a puede evaluarse para conocer el valor de la energía de activación (**García B.C., et.al., 2008**):

$$(3) \ln k = \ln A - E_a/R \cdot 1/T$$

- K = constante de velocidad de reacción
- A = factor de frecuencia (unidades equivalentes al valor de K)
- E_a = energía de activación (J/mol)
- R = constante de los gases ideales ($8,3143 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)
- T = temperatura absoluta (K)

3) CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS

Localización del sitio experimental

La realización de este trabajo experimental tuvo lugar en los laboratorios de Bio-procesos y Procesamiento, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual se encuentra localizada en Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

3.1 Materiales de laboratorio

Los materiales usados en el laboratorio se muestran a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales de laboratorio

MATERIALES	
Recipientes de plástico	Morteros
Agua (destilada y purificada)	Espátula
Tapas para recipientes de plástico	Agitadores
Algodón	Matraces Erlenmeyer de 1000 ml
Charolas de aluminio	Cal
Ligas y tela tipo mosquitera	Gradilla
Probetas de 100 y 500 ml	Tubos de ensaye
Celdillas para espectrofotómetro	Puntillas
Matraz de aforación 100 ml	Pipetas de 10 y 5 ml
Vasos de precipitados 50 ml	Cubre boca
Embudo	Sartén
Estufa	Aplanadora para tortillas
Pizeta	Papel aluminio
Marcador	Guantes de látex
Cotonetes	Cajas Petri y mechero de Bunsen

3.2 Material biológico

Maíz blanco surtido directamente de la Central de Abastos de Saltillo, Coahuila.

3.3 Equipos y reactivos de laboratorio

Los equipos y reactivos que se utilizaron se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Equipos y reactivos de laboratorio

EQUIPOS	REACTIVOS
Balanza analítica (Adventurer Ohaus AR214)	Solución stock de yodo
Estufa de laboratorio (Yamato DKN62C)	Agar papa dextrosa
Higrómetro (Taylor)	Almidón
Parrillas de calentamiento (thermoscientific SP131325)	
Molino de mano	
Termómetro de 250 °C	
Cámara bioclimática (KBF 115-UV)	
Vortex (Benchmarck BPR)	
Micropipeta	
Espectrofotómetro (Genesys UV-10)	
Colorímetro (Konica-Minolta CR-400)	
Termobalanza (Precisa Gravimetrics AG)	
Penetrómetro digital (Extech FHT200)	

3.4 METODOLOGIA

El presente trabajo se estableció en 4 etapas, las cuales son desglosadas a continuación.

3.4.1 ETAPA PRELIMINAR

En ésta se evaluaron y determinaron las condiciones adecuadas de trabajo dentro del laboratorio, es decir la cantidad de grano necesario por repetición para producir el número de tortillas aptas para el experimento, tiempo de germinación idóneo para el proceso y contenido de almidón adecuado, es decir el establecido en los trabajos de investigación anteriores.

3.4.2 ETAPA 1 ESTABLECIMIENTO DE TRATAMIENTOS

3.4.2.1 Remojado del grano

Para la realización de ésta, se pesaron 300 gramos de muestra, las cuales fueron separadas en recipientes con tapas de 100 gramos cada una para formar así una repetición, esta misma metodología se siguió hasta llegar a formar seis repeticiones de muestra de maíz. Una vez que las semillas se encontraban en sus respectivos recipientes, éstas, fueron regadas con 85 ml de agua purificada. Posteriormente se colocaron las muestras en charolas de aluminio y se dejaron reposar por un periodo de 24 tal y como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Remojado del grano

3.4.2.2 Germinación del grano

La etapa descrita a continuación se llevó a cabo una vez que el maíz fue remojado por 24 horas. Siendo así que una vez cumplido el lapso de tiempo mencionado, las muestras de maíz fueron enjuagadas con agua potable y fueron posteriormente colocadas en recipientes horadados los cuales estaban protegidos en la parte superior por una tela tipo mosquitera. Los granos fueron regados con un volumen de 50 a 60 ml de agua. Después, se llevaron a colocar en charolas de aluminio y se dejó que el agua de los contenedores escurriera en la bandeja. Mas sin embargo el agua escurrida no era la suficiente por lo que se optó por añadir más mililitros de agua a la charola, de tal manera que su superficie quedara cubierta de agua.

Para continuar el proceso de germinado, el material fue introducido en una cámara bioclimática para el control de la temperatura de la muestra (20°C), ya que en el exterior las temperaturas eran muy bajas y no permitían llevar a cabo el crecimiento de radícula en los maíces. Durante este tiempo se estuvo cambiando el agua de las charolas cada dos días, realizando a la vez el enjuague de las muestras .Se monitoreó temperatura y humedad dentro de la cámara bioclimática con un higrómetro (diariamente), y el crecimiento de radícula. Cabe mencionar que esto fue realizado del tiempo 0 hasta las 192 horas de germinado.

3.4.3 ETAPA 2 PROCESO DE NIXTAMALIZACION

Los siguientes procedimientos descritos a continuación se realizaron tanto para maíz sin germinar como para maíz germinado:

3.4.3.1 Nixtamalización

Para ello se retiró el agua de los recipientes con maíces y se colocaron los 300 gramos de cada repetición en un matraz Erlenmeyer. Posteriormente se adicionaron 250 ml de H₂O destilada más 0.9 gramos de cal al matraz. Esto fue realizado en las 6 repeticiones obtenidas en la etapa anterior. Una vez hecho esto, se colocaron los matraces en parrillas de calentamiento por un periodo aproximado de 30 a 40 minutos para lograr así el desprendimiento de la cascarilla del grano (como se aprecia en la Figura 3). Por último las muestras se dejaron remojando en el medio alcalino por un periodo de 15 horas y después, éstas fueron enjuagadas con agua purificada para finalizar así la etapa de nixtamalización.



Figura 3. Nixtamalización

3.4.4 ETAPA 3 ELABORACION DE TORTILLAS DE MAIZ

Las muestras de maíz nixtamalizado fueron molidas en un molino manual de discos. Con la ayuda de este equipo se logró obtener una especie de polvo al cual le fueron agregados 50-60 ml de agua purificada para la obtención de la masa de maíz germinado, en cuanto al maíz no germinado se utilizaron de 80 a 85 ml de agua. Una vez que se logró obtener ésta, se procedió a realizar las tortillas, para esto se

utilizó una tortilladora manual; enseguida fueron cocidas en un comal. Cabe recalcar que las bolitas de masa pesaron cada una alrededor de 30 a 40 gramos. El tiempo de cocción en un lado de la tortilla fue de 30-35 segundos aproximadamente, para después ser volteada y tener un tiempo de cocción de un minuto, luego se volvió a voltear al lado inicial por un periodo de 20-25 segundos. Esto fue realizado para cada repetición, dando lugar a la obtención de 9 tortillas por repetición y a un total de 54 tortillas durante esta etapa; tal como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Elaboración de tortillas de maíz

3.4.5 ETAPA 4 DETERIORO DE TORTILLAS

Exposición de las tortillas de maíz en cámara bioclimática para someterlas a una temperatura y humedad mayor a las del medio ambiente.

Las tortillas elaboradas en la etapa anterior fueron sometidas a condiciones de temperatura y humedad mayores que las del ambiente en la zona. Para esto se realizó con anticipación una búsqueda de la temperatura y humedad de los 3 últimos años de la ciudad de Saltillo, Coahuila, sacando así una media de esos años en particular; los datos obtenidos fueron de 20 °C y 59% humedad relativa. Con esto, se procedió a colocar las tortillas dentro de la cámara bioclimática, a una temperatura de 30°C y 69 % de humedad para así someter el producto a condiciones adversas, tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Deterioro de tortillas

El proceso tuvo una duración de 4 horas y 30 minutos. Es importante recalcar aparte de esto, que cada media hora se retiraba una tortilla por repetición (6 repeticiones) dando así lugar a que se tuvieran 6 tortillas; esto se hizo con el fin de evaluar las características físico-químicas de las 6 tortillas retiradas cada media hora (color, humedad, almidón, firmeza); además, se procedió a llevar a cabo la identificación de hongos en el producto una vez éstas fueron retiradas de la cámara bioclimática.

3.4.6 Determinación de características físico-químicas en las tortillas elaboradas.

Antes que nada es importante mencionar que todas las características físico-químicas presentadas a continuación, fueron medidas cada treinta minutos hasta llegar al tiempo final que fue de 4 horas y 30 minutos.

3.4.6.1 Determinación de color

La determinación de este parámetro se llevó a cabo con la ayuda de un colorímetro Konica-Minolta CR-400, el cual antes de ser utilizado era calibrado para su correcto funcionamiento. Enseguida el proceso seguía su curso con la colocación de las tortillas en una mesa sobre papel aluminio, luego con la ayuda del colorímetro se tomaba la lectura en ambas caras, tal y como se muestra en la Figura 6.

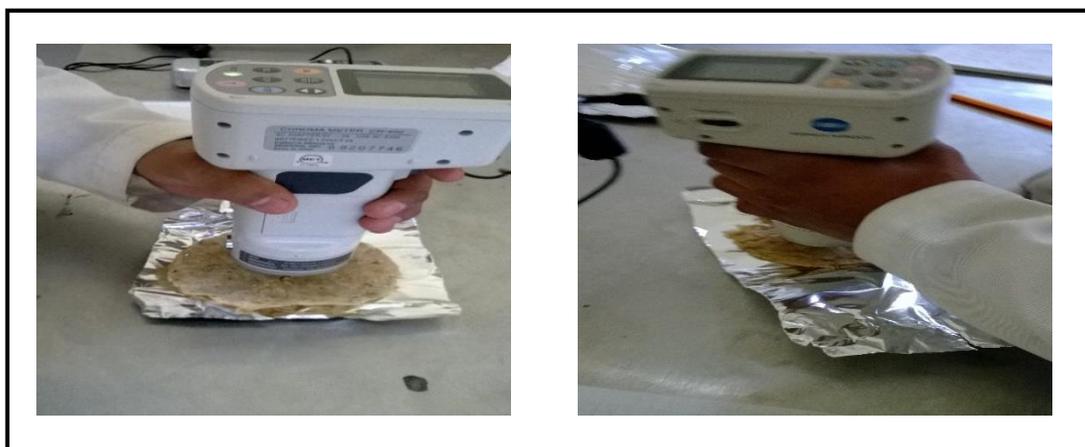


Figura 6. Determinación de colorimetría en tortillas

Las lecturas dadas por el colorímetro fueron $L^* a^* b^*$, en donde L^* es la luminosidad presente en el producto, la cual va de 0 (negro) a 100 (blanco), a^* y b^* representan variación entre rojizo-verdoso y amarillento-azulado, respectivamente. Aquellos casos en los que $a^* = b^* = 0$ son acromáticos; por eso el eje L^* representa la escala acromática de grises que va de blanco a negro.

3.4.6.2 Determinación de humedad

En la determinación del contenido de humedad de la muestra, se utilizó una termobalanza, la cual fue calibrada con anterioridad. Para esto se tomaba un trozo de cada tortilla retirada de la cámara bioclimática y era introducida en la termobalanza por un periodo de 3 minutos para así obtener la lectura de la humedad y el peso de la muestra de interés. Dicho proceso se puede observar en la siguiente Figura 7.



Figura 7. Determinación de humedad

3.4.6.3 Determinación de firmeza

En cuanto a la determinación de firmeza se refiere, fue utilizado para dicho propósito un penetrómetro digital (Extech FHT200) tal como se muestra en la Figura 8. Para ello el penetrómetro fue introducido en 3 puntos diferentes (orilla, centro y orilla) de las tortillas con el único fin de sacar una media.



Figura 8. Determinación de firmeza

3.4.6.4 Determinación de hongos

La determinación de hongos fue llevada a cabo por medio del uso del cultivo llamado agar papa dextrosa. Cabe decir que se sembró una caja por cada tortilla de las 6 repeticiones. Esto se realizó de la siguiente manera:

Las tortillas retiradas de la cámara bioclimática fueron llevadas a un área de siembra de microorganismos, una vez estando en éste lugar, las tortillas fueron barridas con la ayuda de un hisopo para posteriormente realizar una siembra por estriado en las caja Petri. Lo siguiente consistió en realizar la incubación de las cajas sembradas,

la cual se hizo a una temperatura de 32°C por un periodo de 4 días, tal y como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Determinación de hongos

3.4.7 VELOCIDAD DE DETERIORO

La constante de velocidad de deterioro, fue obtenida a través de una metodología, la cual fue aplicada en los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos evaluados (tortillas con maíz germinado y no germinado); los cuales fueron

sometidos a una temperatura de 30 °C y 69 % de humedad relativa dentro de la cámara bioclimática por un periodo de 4 horas y media (Figura 10).



Figura 10. Exposición de tortillas en cámara bioclimática

Para llegar a conocer la velocidad en que cierto atributo o parámetro llega a deteriorarse se decidió utilizar la constante de velocidad de deterioro (-K), la cual se expresa en negativo debido a que el atributo se va perdiendo conforme pasa el tiempo. Para medir dicha variable, se procedió a trabajar los resultados de la siguiente manera:

Se graficaron los datos obtenidos de firmeza para ambos tratamientos (tortillas con maíz germinado y sin germinar) con respecto al tiempo, los cuales fueron presentados en promedios. Una vez realizado lo anterior se procedió a mostrar la ecuación del grafico para así obtener el valor de $-K$, el cual es representado como pendiente en la ecuación.

Por último, se prosiguió a analizar dicho valor obtenido de $-K$ en el parámetro firmeza para generar un comparativo entre el tratamiento con tortillas de maíz germinado y no germinadas.

3.4.8 ANALISIS ESTADISTICO

Para el desarrollo del análisis estadístico llevado a cabo, se decidió utilizar el paquete computacional Minitab versión 17. Se procesaron los datos con un diseño factorial, constituido por dos factores, en el cual para el caso del análisis de varianza se utilizó la distribución "F", Fisher para comparar los datos.

- Factor 1: con 2 niveles (tortillas con grano germinado y sin germinar)
- Factor 2: con 10 niveles: tiempo de exposición del producto en la cámara bioclimática (0, 00:30, 1:00, 1:30, 2:00, 2:30, 3:00, 3:30, 4:00 a 4:30)

Durante esta investigación se realizaron 6 repeticiones, debido a lo cual en la etapa experimental se generaron 60 mediciones para tortillas con maíz germinado y otros 60 datos para tortillas de maíz no germinado, dando así lugar a un número de 120 mediciones entre los dos tipos de tortillas por cada parámetro evaluado. Por último, las características evaluadas se analizaron de manera separada, ya que estas son independientes unas de otras.

4) CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 FIRMEZA

En la evaluación del parámetro firmeza se obtuvieron diversos resultados arrojados por el análisis estadístico utilizado (anexo 3), los cuales son mostrados a continuación: en lo que respecta al factor 1, se obtuvo una F calculada de 123.31 lo que indica una diferencia altamente significativa entre 14.587 kg/cm² para el nivel 1 (tortillas con maíz germinado) y 22.373 kg/cm² para el nivel 2 (tortillas con maíz no germinado). Esto permite demostrar que las tortillas con maíz germinado presentan una firmeza mucho menor en comparación con las no germinadas, evidenciando así que el tratamiento del nivel 1 presenta mejores propiedades en el producto final en cuanto a firmeza se refiere. Tal diferencia se ve ilustrada de manera más clara en la Figura 11.

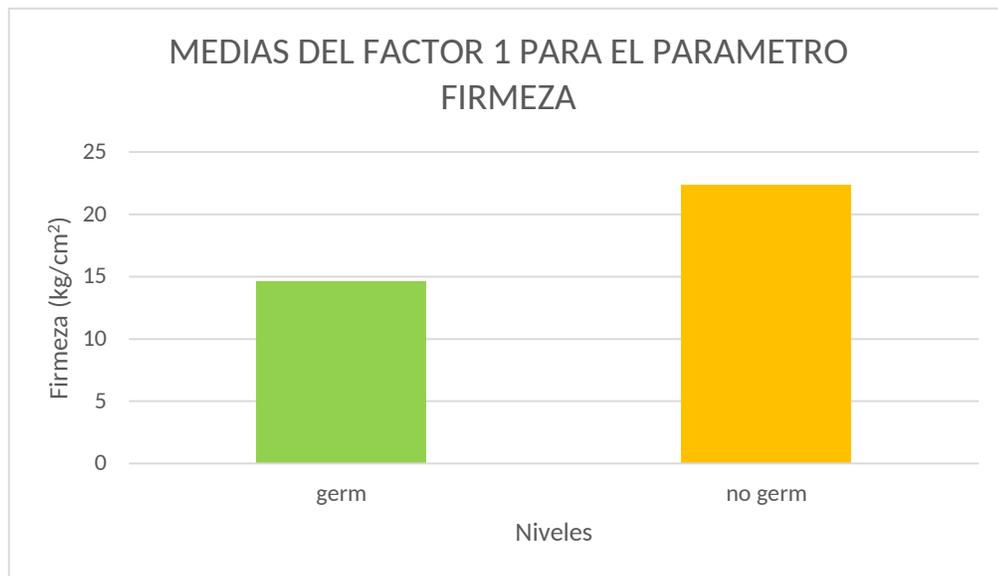


Figura 11. Medias del factor 1 para el parámetro firmeza

Se dice que para que una tortilla presente una óptima consistencia, no hace falta tener una gran cantidad de almidón en el producto, ya que anteriormente se tenía la creencia de que gran parte de los almidones presentes en el grano eran gelatinizados al momento de la nixtamalización del maíz, aunque en la actualidad es sabido que solo una porción reducida no mayor al 15% es la que gelatiniza **(García S. 2004, citado por Pérez V.L.E. 2014)**. Aunque sin embargo esto no significa que dicho proceso no deba ser monitoreado con sumo cuidado, ya que se tiene reportado que éste llega a afectar las propiedades físico-químicas del almidón, siendo así que al llegar un tiempo específico de 1 hora se empiecen a presentar modificaciones como es cambio de forma y desnaturalización del mismo **(Quintanar G.A. et.al., 2009)**. Esto permite afirmar que el proceso de germinación resulta muy beneficioso para la producción de tortillas, ya que como se logra apreciar la firmeza en este tratamiento es menor con respecto al otro (maíz con grano no germinado).

Ahora en cuanto al factor 2 se refiere, se obtuvo una F calculada de 2.68, respuesta que indica que no existe diferencia significativa entre niveles por lo que el tiempo no llega a afectar estadísticamente la firmeza del producto aun después de haber permanecido en la cámara bioclimática por diferentes períodos de tiempo. Esto debido a que los valores tienen un rango entre 15.68 kg/cm² a 19.29 kg/cm².

Mas sin embargo analizando el tiempo de otra manera (con los tratamientos por separado), se encontró que el producto a base de maíz germinado presenta una menor firmeza en el producto final a medida que avanzaba el tiempo, no así para las tortillas no germinadas, donde los valores se mantienen muy elevados (Figura 12). Esto permite establecer que las tortillas con grano germinado presentan mejores características en firmeza con respecto de las tortillas convencionales.

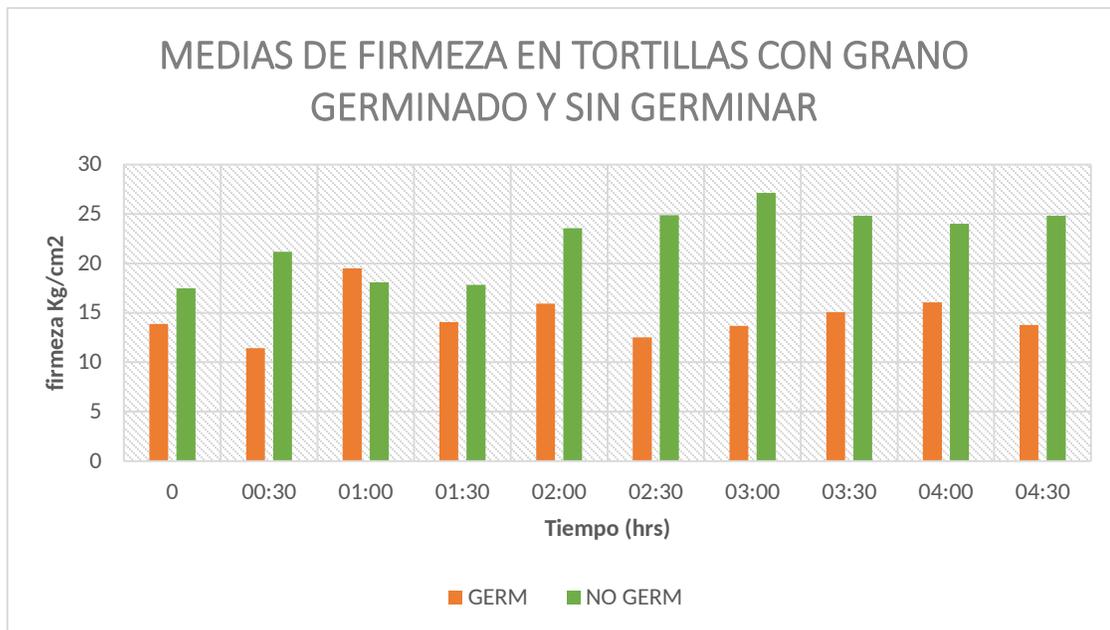


Figura 12. Medias de firmeza en tortilla con grano germinado y sin germinar

En el tiempo “0” las tortillas germinadas presentaron una firmeza de 13.88 Kg/cm² y las no germinadas una ligeramente superior de 17.47 Kg/cm², pero a medida que el tiempo de almacenamiento fue avanzando la diferencia entre ambas era cada vez mayor. Esto da a ilustrar que el procesamiento de tortillas germinadas genera que la retrogradación del almidón sea más lenta y por lo tanto la firmeza en el producto sea mejor. Ya que como es bien sabido, este fenómeno tiene una gran influencia sobre las propiedades texturales (fisicoquímicas y sensoriales) y vida de anaquel del producto **(Biliaderis, (1991), citado por Vázquez R.J.A 2013).**

Con respecto a la interacción entre el factor 1 y 2, el ANVA muestra que existe una interacción entre ambos. En la Figura 13 se ilustra lo anteriormente expuesto.

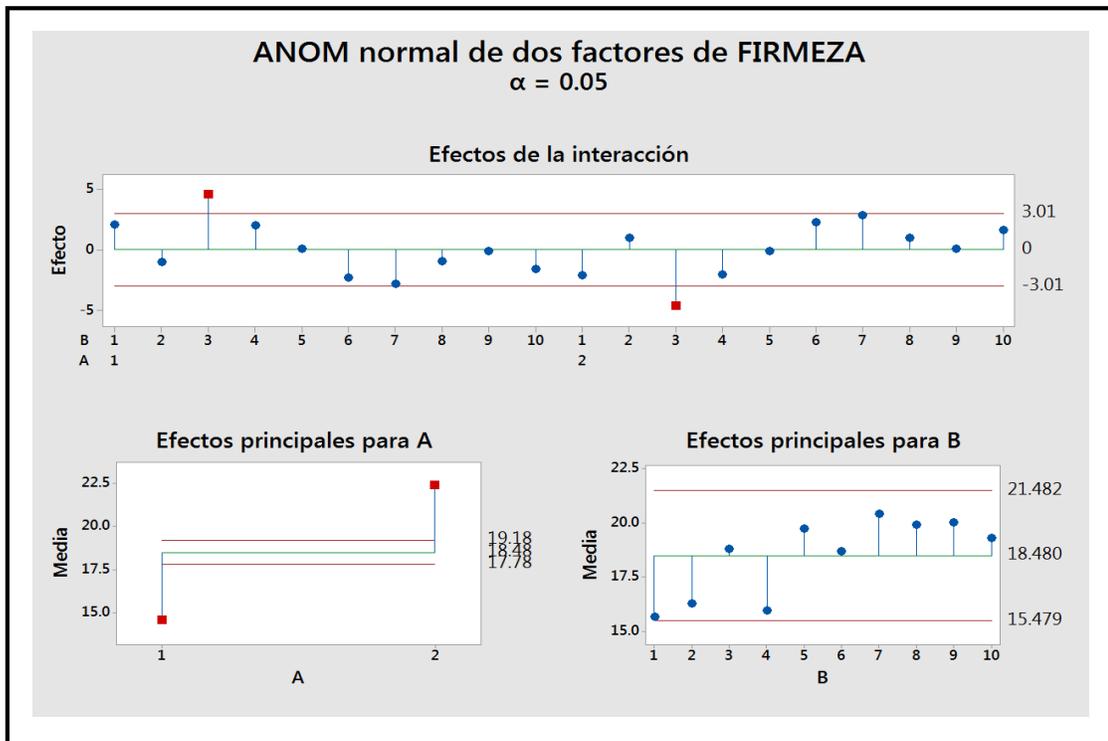


Figura 13. ANOM normal de dos factores de firmeza

4.2 COLOR

De acuerdo al análisis de varianza (anexo 4) realizado en color, éste mostró diversos resultados, tales como: para el factor 1, se encontró una F calculada de 17.35 que indica una diferencia significativa entre el nivel 1 (tortillas maíz germinado) y nivel 2 (tortillas con maíz no germinado) de 59.854 L* a 56.659 L*, lo cual permite aseverar que el proceso de germinación en el grano ayuda sin lugar a dudas a mejorar las características físicas del producto en cuanto a color se refiere, ya que dicho proceso permite obtener mayor luminosidad en comparación con la generada por la técnica de producción convencional. Tal diferencia es presentada en la Figura 14.

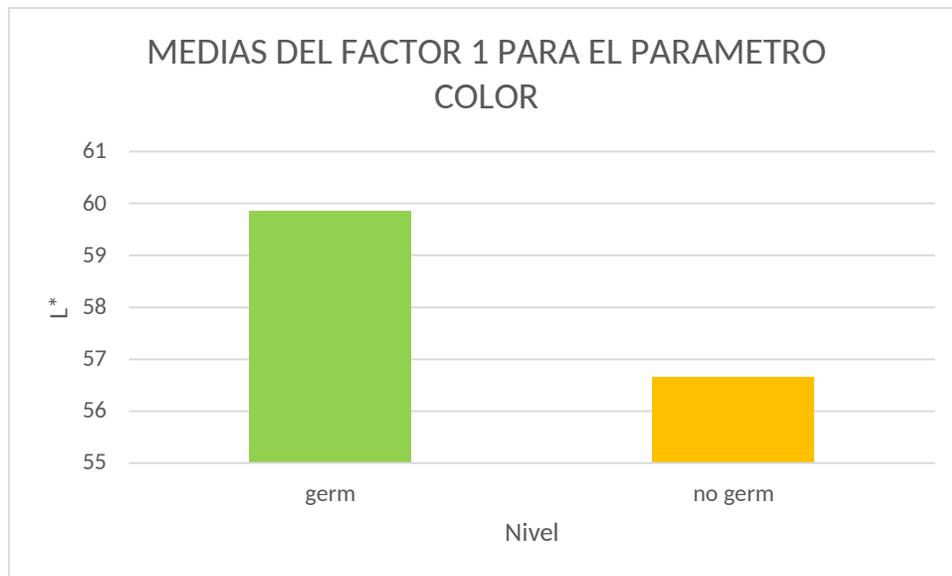


Figura 14. Medias de color para factor 1

En cuanto a la literatura investigada, se tiene en consideración un estudio en el cual se encontró mediante el uso de una prueba sensorial de control, una diferencia en la luminosidad del producto entre las tortillas con grano germinado y sin germinar **(Pérez V.L.E. 2014)**, tal información permite relacionarlo con el presente trabajo realizado en donde también se encuentran dichas diferencias en los tratamientos, aunque en este caso, mostrando que los mejores datos de L* se encuentran en las tortillas de grano germinado, ya que éstas presentan mayor luminosidad en el producto (son más brillosas).

Por otra parte, analizando dicho parámetro desde otra perspectiva, existen estudios que indican que una mezcla de maíz ceroso y maíz normal, es capaz de alterar la luminosidad del producto (tortillas). Siendo así que los valores de L* decrecen de 75 a 70; además mencionan que los diferentes tratamientos de mezcla provocan aún mayores estragos en tal parámetro, ya que genera que éstos sean más cristalinos. Tales cambios pueden ser debidos a la retrogradación del almidón, particularmente de la amilopectina (principal polisacárido del maíz ceroso), la cual al retrogradarse recupera su cristalinidad **(Salinas.M.Y., et.al., 2011)**.

Lo anterior, permite suponer con respecto a los resultados obtenidos, que el proceso germinativo del grano es un mecanismo bajo el cual, la cantidad de amilopectina presente en el grano se va degradando lentamente, ya que al momento de comparar la luminosidad entre tortillas de maíz germinado y sin germinar, aquella que contenía mayores valores de tal parámetro era la germinada.

Ahora en cuanto al factor 2, con respecto al tiempo de exposición de las tortillas en la cámara bioclimática, se encontró una F calculada de 0.84, un resultado que implica que no se llega a afectar la luminosidad de las mismas de manera significativa ya que los valores disminuyen en 1 punto, de 59.32 L* a 58.50 L*. Aunque sin embargo analizando el tiempo con los tratamientos de tortillas por separado, se logra observar en la Figura 15 que las tortillas de maíz germinado presentan una mayor estabilidad a medida que avanza el tiempo, por otro lado se puede apreciar que las tortillas de maíz no germinado presentan altas y bajas durante todo el periodo de exposición en la cámara bioclimática; evidenciando mejor calidad en aquellas elaboradas con maíz germinado.

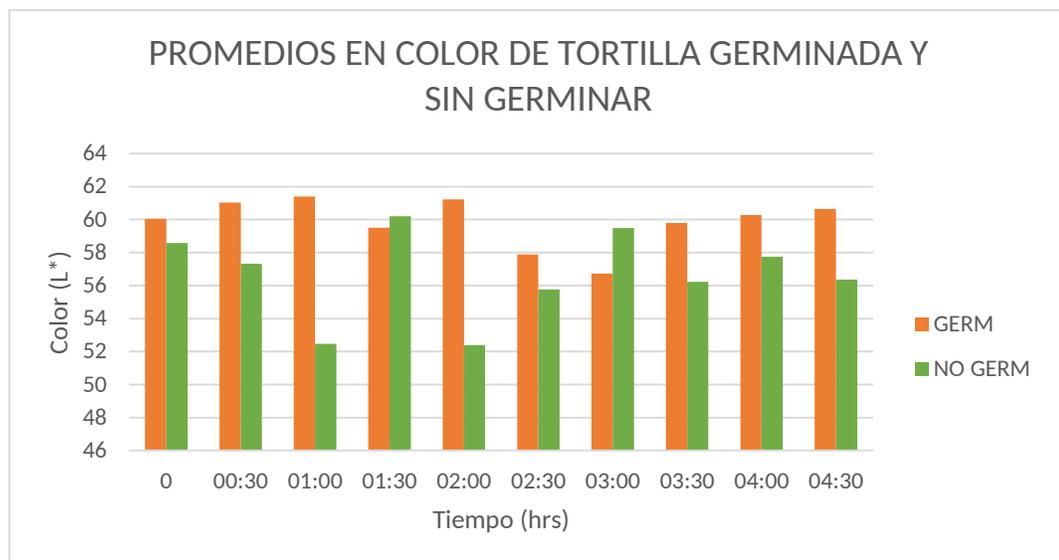


Figura 15. Coloración de tortillas con respecto al tiempo

Por otra parte, en el ANVA se determina que no existen interacciones entre los factores 1 y 2.

4.3 HUMEDAD

En el análisis de varianza realizado en humedad (anexo 5), se encontró para el factor 1 que no existe diferencia significativa para esta variable, entre las tortillas de maíz germinado y no germinado, esto al presentar una F calculada de 3.69, ya que los valores arrojados entre un nivel y otro fueron de 17.198% a 16.045%. Tal resultado se puede ver en la Figura 16 en donde se muestran las medias obtenidas entre ambos niveles.

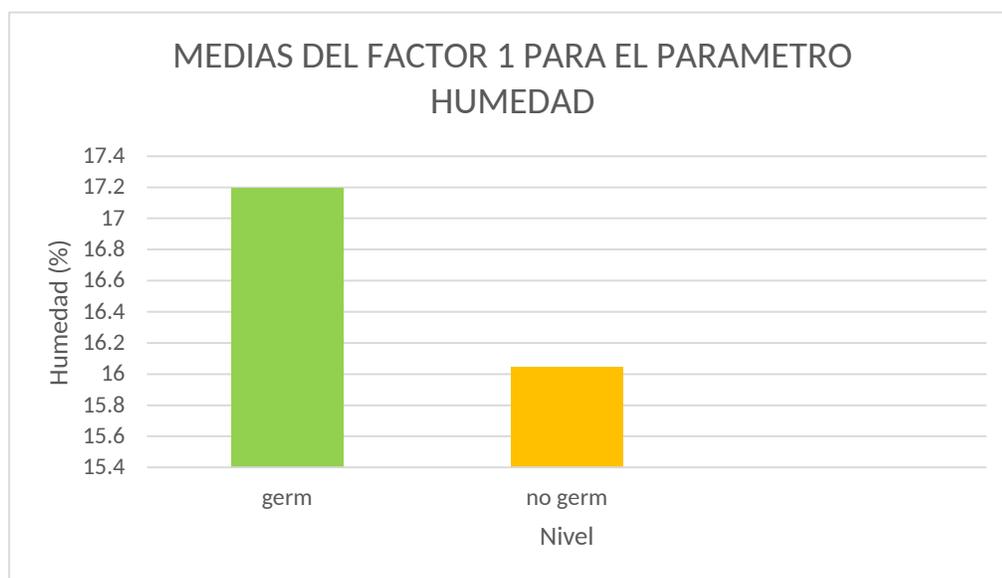


Figura 16. Medias del factor 1 del parámetro humedad

Tomando en cuenta la literatura consultada, se tiene en conocimiento un estudio realizado sobre las propiedades viscoelásticas presentes en la masa nixtamalizada, en donde utilizaron como tratamientos el nejayote y sólidos de nejayote para evaluar diferencias entre uno y otro. En tal investigación se encontró que dichos

tratamientos no generan una diferencia significativa en el parámetro humedad, ya que éstos oscilaban entre $57,80 \pm 0,3 \text{ g} / 100 \text{ g}$ (Valderrama B. C., et.al., 2015). Indicando así que la humedad presente en el producto no es debida al proceso de nixtamalización llevado a cabo en el grano, es decir, se debe a factores como el tiempo, temperatura a las que están expuestas las tortillas.

Ahora para el caso del factor 2 (Figura 17), una F calculada de 9.26 mostró que el tiempo en que permanece el producto en la cámara bioclimática si afecta la humedad de las tortillas, ya que esta varía de 24.111% a 15.951%.

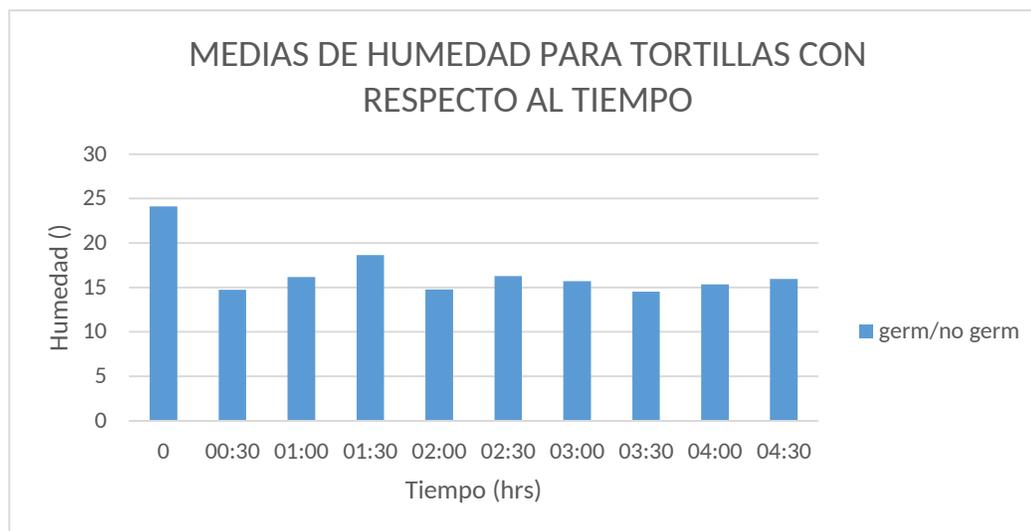


Figura 17. Medias de humedad de tortillas con respecto al tiempo

De acuerdo a la literatura revisada, las tortillas al momento de ser almacenadas, tienden a perder humedad, siendo así que sufran cambios estructurales y fisicoquímicos; se endurecen, presentando así un incremento de fuerza necesaria para estirar la tortilla hasta el punto de su rompimiento (Román B.J.A., et.al., 2006), esto permite aseverar que los resultados obtenidos en este trabajo (cambios de humedad con respecto a tiempo) resultan ciertamente verídicos, ya que como se

pudo observar en la Figura 17, el tiempo representa una variable de cambio en la determinación del parámetro humedad, evidenciando así el aumento de la fuerza necesaria para poder penetrarla. Ahora analizando el factor tiempo con los tratamientos por separado (tortillas de maíz germinado y sin germinar), se logra apreciar en la Figura 18 que existe una pequeña diferencia entre las tortillas de maíz germinado y las no germinadas, mostrando que las tortillas de maíz germinado presentarán un mayor contenido de humedad con respecto a las otras.

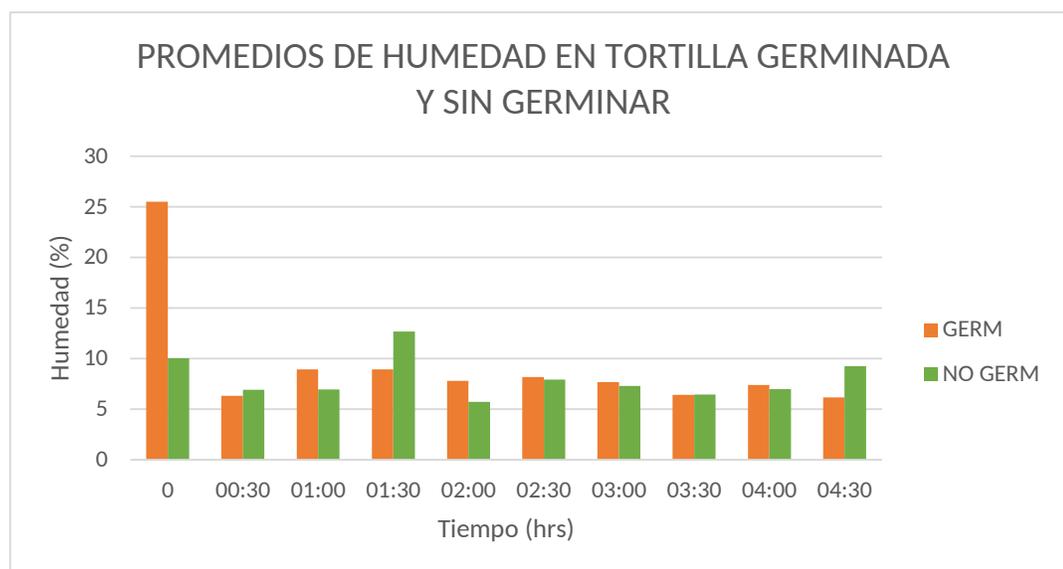


Figura 18. Promedios de humedad en tratamientos de tortillas con respecto al tiempo

En cuanto a la interacción entre los factores 1 y 2, el ANVA indica que existe una interacción como se observa en la Figura 19.

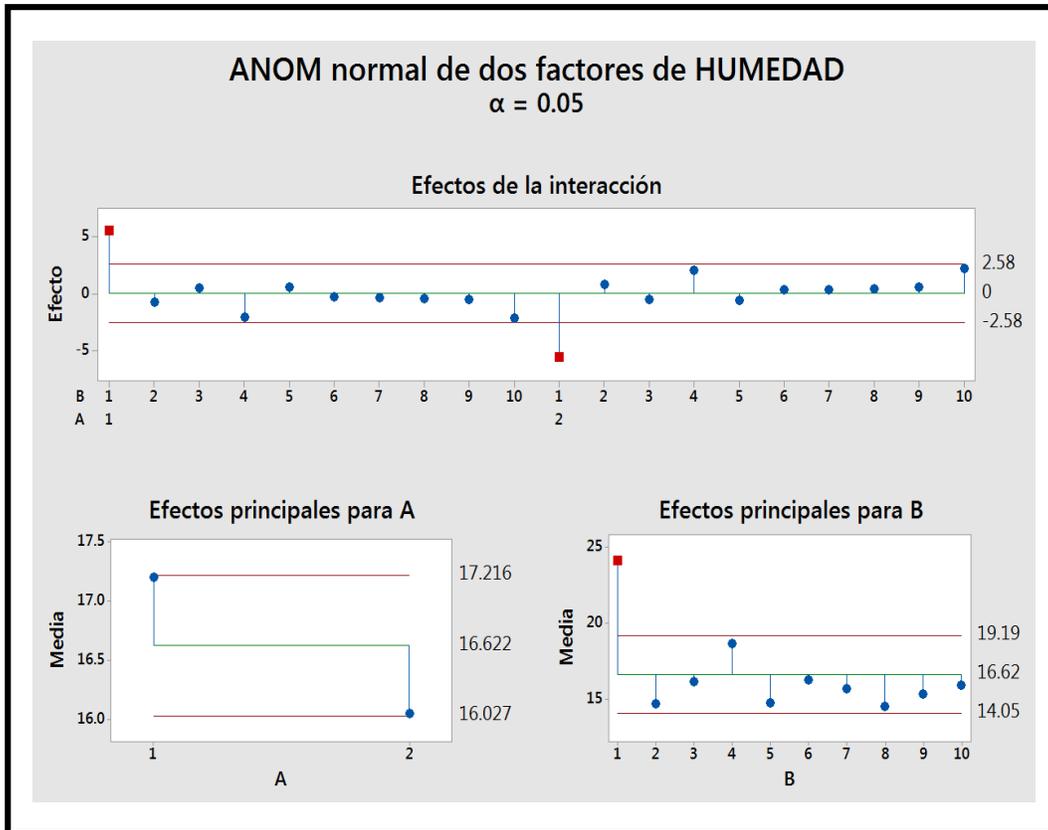


Figura 19. ANOM normal de dos factores de humedad

4.4 CRECIMIENTO FUNGICO

Después de mantener el producto a una temperatura 30°C y humedad relativa de y 69% por encima de las condiciones normales encontradas en el ambiente (10°C y 10% HR), se encontró que éstas no presentaban crecimiento fúngico aparentemente visible. Mas sin embargo al momento de tomar muestra de las tortillas y transferirlas a medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), bajo condiciones de incubación de 32°C y 3 días de crecimiento, se encontró que el producto si presentaba colonias de medio fúngico (Figura 20).

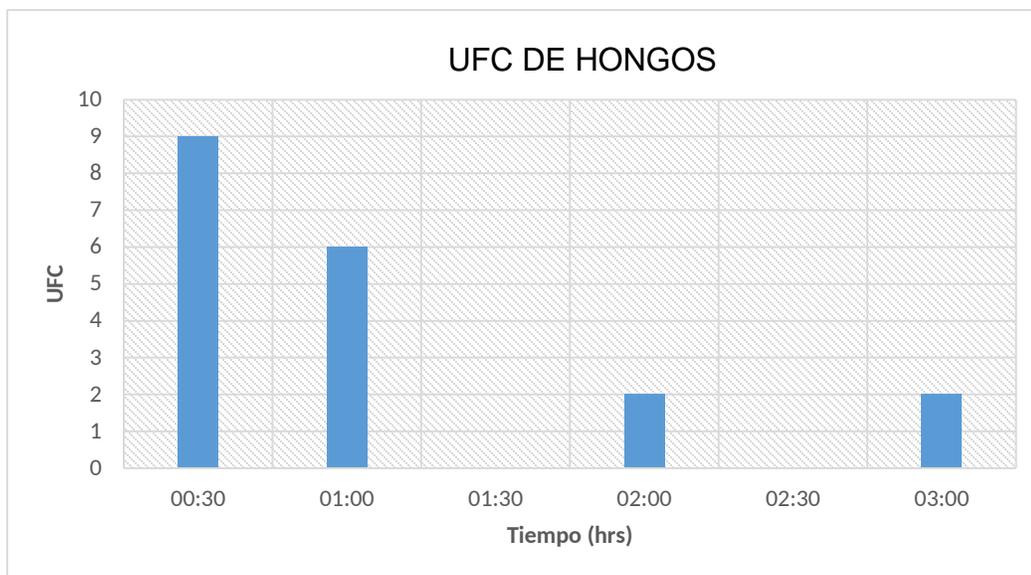


Figura 20. UFC de hongos formadas a partir de muestras de tortillas con grano germinado

En la Figura 20 se aprecia que la presencia de dichos hongos presentan sus tasas de crecimiento mayores durante el periodo de tiempo de almacenamiento que hay entre 00:30 min y 1:00 hora, posteriormente, se logra observar que dichas UFC decaen a valores menores de 2 a 0, no pudiendo después de esto recuperarse ni mucho menos formar una cinética de crecimiento microbiano normal.

Tal comportamiento durante el inicio de la Figura 20, es posiblemente influenciado a que durante este lapso de tiempo se presentaron los mayores valores de humedad en el producto, posteriormente éstos, decaen y se mantienen en cierta medida estable, lo cual ayuda a explicar porque durante los últimos tiempos de la figura ya mencionada, las UFC de hongos son menores, ya que como se sabe los microorganismos pertenecientes al reino fúngico, necesitan de un alto contenido de humedad para poder reproducirse.

Los hongos que fueron encontrados durante el presente trabajo se muestran en la Figura 21.

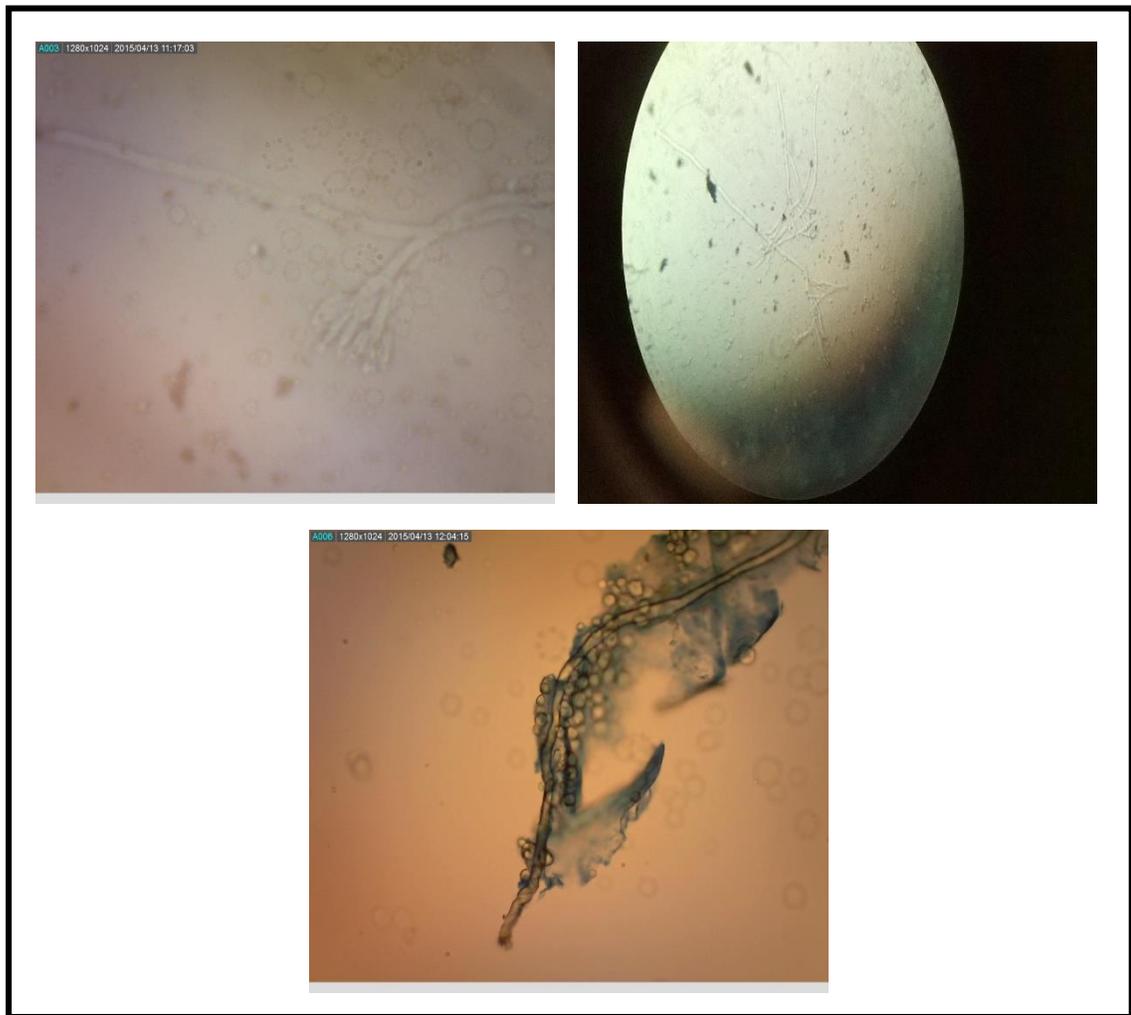


Figura 21. Hongos en tortillas de maíz germinado

4.5 CONSTANTE DE VELOCIDAD DE DETERIORO

La investigación llevada a cabo, involucró diversos análisis realizados a color, humedad y firmeza, en donde se determinó que la característica principal de calidad de las tortillas es la firmeza, ya que ésta representa el atributo que la mayoría de los

consumidores persiguen a la hora de adquirir dicho producto. Es por ello que a continuación se presentan los siguientes resultados en relación a la constante de velocidad de deterioro (-K). En la Figura 22, se muestran los resultados de firmeza obtenidos durante el proceso experimental. Se aprecia que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados durante la presente investigación.

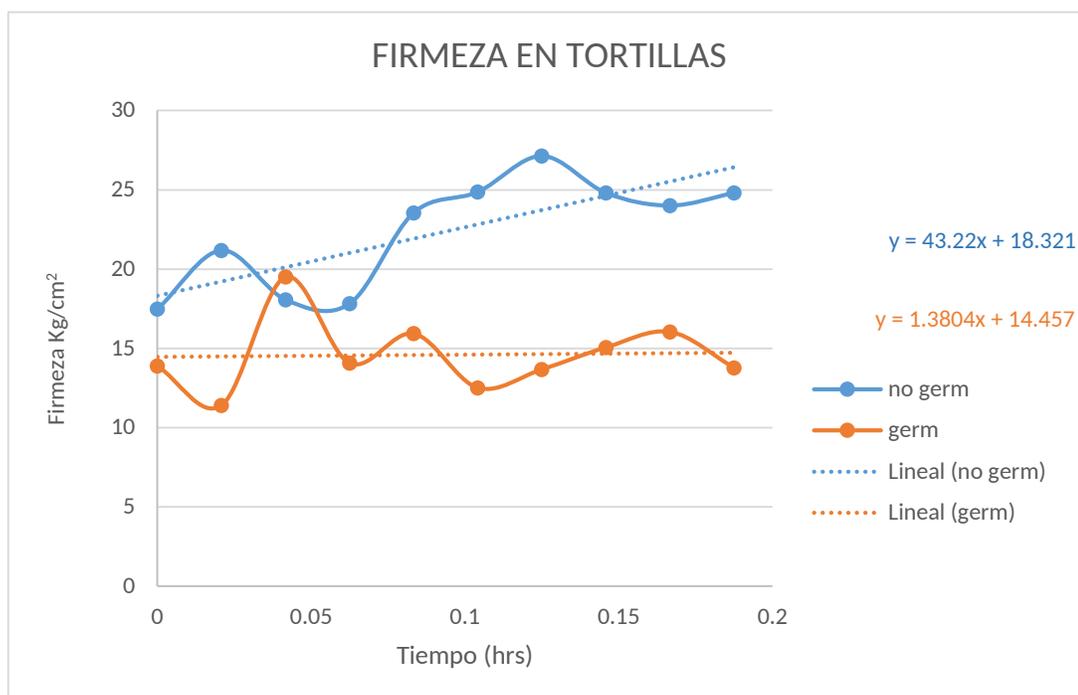


Figura 22. Firmeza de tortillas en grano germinado y sin germinar

Para el caso de las tortillas con grano no germinado, se obtuvo que la firmeza en los primeros tiempos no se comportaba de una manera estable, ya que al observar el tiempo entre 00:30 horas y 1:00 hora, se distingue que tal parámetro disminuyó su valor de 21.18 Kg/cm² a 18.075 Kg/cm², posteriormente en lo que respecta al tiempo de 1:30 horas se presentó la misma tendencia que en el periodo anterior, más sin embargo, al llegar al tiempo de 2:00 horas dicha firmeza volvió a aumentar,

llegando a valores de 23.55 Kg/cm², siendo que de aquí en adelante el producto fuera imposible de consumir ya que la tendencia de tal parámetro fue en aumento.

En el caso de las tortillas con maíz germinado, los resultados obtenidos, indican que dicho tratamiento es más estable, ya que si bien, los tiempos entre 00:30 horas y 1:00 hora presentan una diferencia de 11.40 Kg/cm² a 19.50 Kg/cm², éstos no llegan a afectar en gran medida la firmeza del producto, debido a que a partir del tiempo 1:00 hora se aprecia claramente que tal parámetro se llega a estabilizar.

También se logra observar en la Figura 22 que los valores de firmeza en ambos tratamientos, se interceptan en el tiempo de 1:00 hora, presentándose para el caso de tortillas con grano no germinado un valor de 18.07 Kg/cm² y 19.50 Kg/cm² para las tortillas con grano germinado. Cabe señalar que tal cruce solo se ve reflejado en tal tiempo, ya que a partir de entonces se nota claramente la diferencia de firmeza existente entre ambos tipos de tortillas, presentándose valores de firmeza mucho mayor en el caso de las tortillas con grano no germinado. Tales diferencias entre ambos tratamientos permiten resumir que en cuanto a calidad en relación a la suavidad del producto, el proceso germinativo viene siendo el mejor, ya que presenta mejores características, como es estabilidad de la firmeza durante el paso del tiempo y valores más estables de la misma, a comparación del otro tratamiento.

Por otro lado analizando como tal el parámetro de velocidad de deterioro, se puede ver que en el caso de tortillas con grano no germinado se tuvo una $-K= 43.22$ Kg/cm² mientras que para las tortillas con grano germinado dicho valor fue menor ya que se obtuvo una $-K= 1.3804$ Kg/cm², permitiendo así establecer nuevamente que las tortillas germinadas brindan mejores beneficios a la hora de medir la suavidad del producto, ya que si ésta se pierde de una manera más rápida (como en el caso de las tortillas elaboradas de manera convencional) provocará que los consumidores se sientan poco atraídos por el producto ofrecido.

En cuanto a la literatura investigada, ésta menciona que los consumidores de tal producto, se inclinan por una tortilla elaborada que sea capaz de mantener propiedades texturales (rollabilidad, suavidad y flexibilidad), así como también un buen desempeño durante el recalentamiento, doblado y enrollado (**Gasca M.J.C. y Casas.A.N.B. 2007**). Tales características de calidad se pueden ver perjudicadas debido a la retrogradación del almidón (**Rooney y Suhendro, 1999, citado por Salinas.M.Y., et.al., 2011**), el cual se inicia tan pronto la tortilla comienza a enfriarse (**Gómez *et al.*, 1992, citado por Salinas.M.Y., et.al., 2011**). Lo anterior permite mencionar que las tortillas con grano germinado, son un producto que el consumidor aceptará sin muchos problemas ya que cumple con los estándares que el cliente solicita (Figura 22).

5) CAPITULO 5. CONCLUSIONES

Las tortillas generadas a partir de maíz germinado presentan mayor suavidad en el producto, ya que el tratamiento a partir de grano no germinado presenta una firmeza mayor que induce a que éstas sean más duras, además de que el tiempo no llega a ser un factor que marque alguna diferencia entre los dos tipos de tratamientos.

El proceso germinativo del grano de maíz, favorece la luminosidad en las tortillas, ya que con este tratamiento se logra aumentar más dicha característica en el producto. En cuanto al tiempo éste no llega a ser un factor que genere diferencia alguna en el producto.

El contenido de humedad en el producto no se ve influenciado por los tratamientos utilizados (tortillas a base de maíz germinado y sin germinar), ya que estos no marcaron ninguna diferencia significativa. Mas sin embargo el tiempo en que el producto permaneció en la cámara bioclimática si influyó.

En la constante de velocidad de deterioro para firmeza, se obtuvieron los mejores resultados en el tratamiento de tortillas con grano germinado, ya que en éste la suavidad del producto se perdía de una manera mucho más lenta, debido a que la firmeza se mantuvo prácticamente estable durante el periodo experimental.

6) CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anzueto C.R. 2012. Modelos matemáticos para estimación de vida útil de alimentos. Food beverage technology Summit. Guatemala

Bezerra de A.A.,*et.al.*,2015. Impact of edible chitosan–cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperatura. Elsevier. Brazil

Biliaderis, 1991, citado por Vázquez R.J.A 2013. Desarrollo de tortillas de maíz fortificadas con fuentes de proteína y fibra y su efecto biológico en un modelo animal. Colección digital UANL. México

Castro J.V.,*et.al.*,2003. Efecto del empaque plástico sobre la vida de anaquel del mango keitt. Redalyc. México

Contreras S.M.A. 2014. Cuantificación de aminoácidos esenciales en tortilla nixtamalizada de maíz (*zea mays*) germinado. Tesis de Licenciatura Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. México

Chatterjee D.,*et.al.*,2014. Development of methodology for assessment of shelf-life of fried potato wedges using electronic noses: Sensor screening by fuzzy logic analysis. Elsevier. India

Chica C.B.A., *et.al.*, 2003. Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado. Bdigital. Colombia

Cruz P.A.B., *et.al.*, 2003. Marcadores fisiológicos de la tolerancia al envejecimiento de semilla en maíz. Elsevier. México

Domingo. M.,*et.al.*, 2010. Quality classification of corn tortillas using computer visión. Elsevier. México

García B.C., *et.al.*, 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. Dialnet. Costa Rica

Gasca M.J.C. y Casas.A.N.B. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. Scielo. México

Licciardello F.A.,*et.al.*,2014. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing. Elsevier. Italy

Martínez F.H.E.,*et.al.*,2000. Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. Redalyc. México

Massieu T.Y. y Lechuga M. 2002. El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. Redalyc. México

Mendez A.J.A.,*et.al.*,2002. Aflatoxins' fate duringthe nixtamalization of contaminated maize by two tortilla-makingprocesses. Elsevier. México

Miransari M.y Smith L. 2014. Plant hormones and seed germination. Elsevier. Canada

Ospina M.S.M y Cartagena V. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. Redalyc. Colombia

Pablo.G.J., *et.al.*, 2012. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Instituto nacional de Salud Pública. México

Peelman N.,*et.al.*,2014. Use of biobased materials for modified atmosphere packaging of short and medium shelf-life food products. Elsevier. Bélgica

Pérez V.L.E. 2014. Evaluación físico-química y sensorial de tortilla nixtamalizada obtenida a partir de maíz blanco (*zea mays*) germinado. Tesis de Licenciatura Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. México

Quintanar G.A. *et.al.*, 2009. Changes on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays* sp.) under different nixtamalization conditions. Elsevier. México.

R. Sánchez., *et.al.*, 2013. *Vida útil del yogur bionatural usando el método del vapor* Q₁₀ y análisis de supervivencia

Rojas P.C., *et.al.*, 2010. Estimación de la vida útil de corazones de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) marinados en conserva y el contenido de omega 3 y omega 6. Facultad de ciencias agropecuarias. Perú

Román B.J.A., et.al., 2006. Estudio de textura en tortillas de maíz adicionadas con goma xantana: determinación de extensibilidad y puncion. Tesis de maestría instituto politecnico nacional. México

Roman P.R. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Elsevier. México

Romero V.E.,*et.al.*,2006. Hábitos de alimentación e ingestión de calorías en un grupo de niños y adolescentes obesos. Scielo. México

Salinas.M.Y., et.al., 2011. Mezclas de maíz normal con maíz ceroso y su efecto en la calidad de la tortilla. Scielo. México

Song.J.,*et.al.*,2011. Genome-wide identification of gibberellins metabolic enzyme genes and expression profiling analysis during seed germination in maize. Elsevier. China

Torrez. A., *et.al.*, 2001. Estimación de la vida útil de una fórmula dietética en función de la disminución de lisina disponible. Scielo. México

Valderrama B. C., *et.al.*, 2015. Changes in chemical, viscoelastic, and textural properties of nixtamalized dough with nejayote. Elsevier. México

Valencia. G.F.E., *et.al.*, 2012. Cinética del color durante el almacenamiento de caramelos blandos de uchuva adicionados de calcio y sin sacarosa. Scielo. Colombia

Vasquez C.M. *et.al.*, 2014. Genotipos de maíz (zea mays l.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. Scielo. México

Villa.H.J.M., *et.al.*, 2013. Regulation of ribosome biogenesis in maize embryonic axes during Germination. Elsevier. México

Vittadini E.,*et.al.*,2003. Effect of high pressure processing and addition of glycerol and salt on the properties of water in corn tortillas. Elsevier. USA

7) CAPITULO 7. ANEXOS

7.1 Anexo 1. Etapa preliminar de maíz germinado

Antes de llevar a cabo la metodología descrita anteriormente, se hizo una prueba preliminar con maíz germinado para observar el comportamiento de los resultados y así poder establecer una adecuada metodología al proyecto.

En esta etapa al igual que las anteriores se realizó el remojo, germinado, nixtamalizado, elaboración de tortillas y exposición del producto a temperaturas mayores de las del medio ambiente, así como también se determinó las características físico-químicas del mismo. Lo que diferencia a esta etapa de las demás es que en ésta solo se tuvieron 5 repeticiones (tal como se muestra en la Figura 23), en la cual cada repetición tenía solo 1 tortilla. En lo que respecta al tiempo de duración del producto en la cámara bioclimática éste fue de 2 horas. Además la toma de muestra fue diferente ya que se iba retirando de la cámara 1 tortilla por cada media hora para así evaluar las características físico-químicas. Por ultimo éste proceso se siguió hasta la finalización de las dos horas del experimento.



Figura 23. Prueba preliminar de maíz germinado

A continuación se describe más detalladamente cada punto mencionado en el párrafo anterior:

7.1.1 Remojado del grano

El proceso que se muestra a continuación presenta la misma metodología descrita en la etapa 1 (solo para remojo del material), la cual fue desglosada anteriormente. Aunque sin embargo en esta prueba preliminar llevada a cabo se tuvieron algunas diferencias que marcan significativamente puntos claves durante el proceso. A continuación se mencionan estas diferencias: la cantidad de muestra de maíz utilizada fue de 150 gramos para 5 repeticiones. También se tiene en cuenta el lugar bajo el cual se realizó el remojo del grano, ya que aquí esto se realizó en una estufa completamente cerrada, tal y como es mostrado en la Figura 24.



Figura 24. Remojado del grano

7.1.2 Germinado del grano

En lo que respecta al proceso de germinación del grano como tal, éste se llevó a cabo de manera similar que la descrita en la etapa 1, aunque sin embargo existen diferencias, las cuales son mencionadas ahora:

Se tiene en consideración que las charolas donde se llevó a cabo el remojo estaban cubiertas por una capa de algodón a diferencia de la mencionada en la etapa 1, la cual era mojada con la intención de mantener húmedas las muestras al momento de ser colocadas dentro de las charolas, además eran removidas una vez habían pasado dos días para así evitar posible contaminación de material por culpa del algodón. Ésta viene siendo la estrategia utilizada, tal y como es mostrado en la Figura 25.



Figura 25. Germinado del grano

7.1.3 Proceso de nixtamalización

El proceso de nixtamalización que se muestra aquí, difiere en que el tiempo de exposición del material al calor fue menor que en la etapa anteriormente mencionada, siendo que aquí se tuviera un periodo de 25 a 35 minutos como máximo. En la siguiente Figura 26 se presenta dicho proceso.

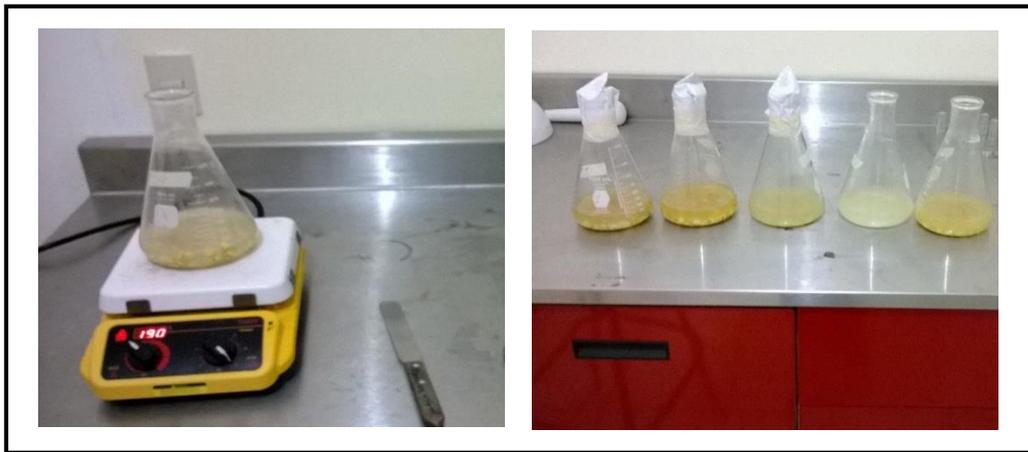


Figura 26. Nixtamalización

7.1.4 Elaboración de tortillas

Para la realización de tortillas no se necesitó añadir agua al polvo obtenido de la molienda del grano, debido a que éste se encontraba lleno de agua gracias a los anteriores procesos de remojo y germinación del mismo. Generando con ello que solo se tuviera que amasar el producto generado de la molienda para obtener la masa. A continuación se muestra en la Figura 27 el proceso llevado a cabo.



Figura 27. Elaboración de tortillas

7.1.5 Exposición de las tortillas de maíz en cámara bioclimática para someterlas a una temperatura y humedad mayor de las del medio ambiente.

La temperatura y humedad bajo la cual fue programada la cámara bioclimática fue diferente a la utilizada en la prueba 4, para la prueba preliminar se utilizó una temperatura de 35 °C y una humedad de 76 %. Por otro lado el tiempo de duración del experimento fue menor ya que aquí solo se extendió dicho tiempo hasta las 2 horas. En la Figura 28 se puede apreciar mejor dicho proceso.



Figura 28. Exposición de tortillas en cámara bioclimática

7.1.6 Determinación de características físico-químicas en las tortillas elaboradas.

En la prueba preliminar llevada a cabo se determinaron parámetros físico-químicos para conocer el estado en el que se encontraba el producto después de haberlo sometido a condiciones adversas de conservación dentro de la cámara bioclimática. Siendo estos los siguientes: color, humedad, almidón y firmeza.

En lo que respecta a las diferencias que existe entre la etapa 4 contra ésta, cabe mencionar que los únicos puntos que cambian son:

- El tiempo bajo el cual se realizó la medición de cada parámetro, para este caso fue de solo 2 horas.

- En este caso solo se tenía 1 tortilla por cada media hora para determinación de todos los parámetros.

7.2 Anexo 2. Determinación de almidón

En la cuantificación de dicho parámetro, se realizó mediante el uso de una técnica colorimétrica, usando como principal indicador de almidón al yodo. Además la muestra fue leída a una longitud de onda de 620 nm, tal como se muestra en la Figura 29.

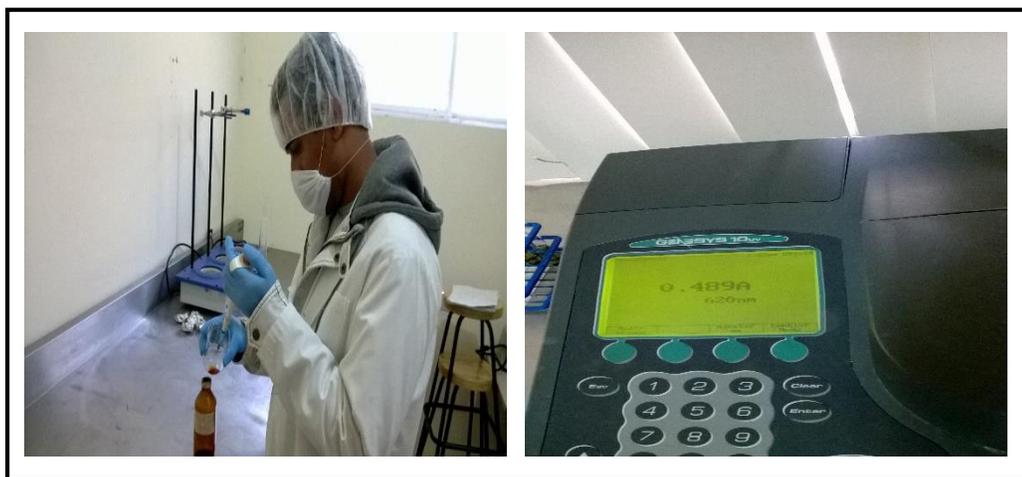


Figura 29. Determinación de almidón

- Preparación de las soluciones utilizadas

Se utilizaron dos tipos de soluciones para la medición de dicho parámetro, estas fueron solución stock y solución diluida de yodo; cabe mencionar que ambas fueron protegidas de la luz. A continuación se detalla su modo de preparación:

- Solución stock

Para su preparación, se disolvió 1.1 gramos de yodo y 2.2 gramos de yoduro de potasio en 30 ml de agua destilada para ser posteriormente aforados en un matraz de 50 mililitros, tal solución fue después almacenada en un frasco color ámbar.

- Solución diluida de stock

Se procedió a tomar 2 ml de la solución stock y se añadieron a 98 ml de agua destilada, para la obtención de dicha solución.

- Preparación de las muestras a analizar

Se procedió a retirar de la cámara bioclimática una tortilla para luego evaluar el contenido de almidón. Para realizarlo, se pesaron 10 gramos de cada muestra, permitiendo así continuar con el proceso y triturar las tortillas. Siendo así que se necesitara añadir 100 ml de agua destilada y los 10 gramos pesados para llevar a cabo lo anterior. Una vez obtenida la muestra triturada, ésta era filtrada con ayuda de una tela a un recipiente, Posteriormente era tomado 1 ml de la muestra y se transfería a un tubo de ensaye en el cual la muestra era diluida con 9 ml de agua destilada.

Ahora la etapa sigue su curso, mediante la toma de 1 ml de la muestra diluida a otro tubo de ensaye. Luego a éste se añadió solución diluida de stock para así poder detectar la presencia o no de almidón en las muestras de interés. Para finalizar se homogenizó la muestra con ayuda de un vortex y fue leída en el espectrofotómetro a 620 nm tal y como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Preparación de muestras a analizar

- Curva de calibración estándar

Para poder llevar a cabo la realización de esta curva, primero que nada se preparó una solución madre estándar de almidón al 2% en agua caliente, luego esta fue aforada a 100 ml. Teniendo la solución se prosiguió con la preparación de una serie de tubos como se describe en la Tabla 4.

Tabla 4. Curva de calibración de almidón

TUBOS	ml s/n madre almidón	ml H ₂ O destilada
1	0	1
2	0.1	0.9
3	0.2	0.8
4	0.3	0.7
5	0.4	0.6
6	0.5	0.5
7	0.6	0.4
8	0.7	0.3
9	0.8	0.2
10	0.9	0.1
11	1	0

Una vez que se terminaron de preparar los tubos anteriores, se tomaron 2 ml de cada tubo y le fue añadido 2 ml de solución stock diluida. Después se prosiguió con el homogeneizado de las muestras y se tomó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 620 nm.

Por ultimo en lo que respecta a la interpretación de los resultados obtenidos en el espectrofotómetro, estos se usaron para la obtención de dicha curva en interés, dentro de la cual se obtuvo su ecuación para así poder determinar el contenido de almidón presente en las tortillas.

7.3 Anexo 3. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro firmeza en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento.

Análisis de varianza

Tabla 5. Análisis de varianza firmeza

Factores:	2	Réplicas:	6		
Corridas base:	20	Total de corridas:	120		
Bloques base:	1	Total de bloques:	1		
Número de niveles: 2, 10					
Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
A	2	1, 2			
B	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	19	2744.7	144.46	9.79	0.000
Lineal	10	2174.4	217.44	14.74	0.000
A	1	1818.9	1818.86	123.31	0.000
B	9	355.5	39.50	2.68	0.008
Interacciones de 2 términos	9	570.3	63.37	4.30	0.000
A*B	9	570.3	63.37	4.30	0.000
Error	100	1475.0	14.75		
Total	119	4219.7			

Medias

Tabla 6. Medias factor 1 y 2 firmeza

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
A		
1	14.587	0.496
2	22.373	0.496
B		
1	15.68	1.11
2	16.29	1.11
3	18.79	1.11
4	15.95	1.11
5	19.74	1.11
6	18.69	1.11
7	20.40	1.11
8	19.93	1.11
9	20.03	1.11
10	19.29	1.11

Las gráficas de residuos mostradas anteriormente, dejar ver claramente que los datos se distribuyen de una manera normal.

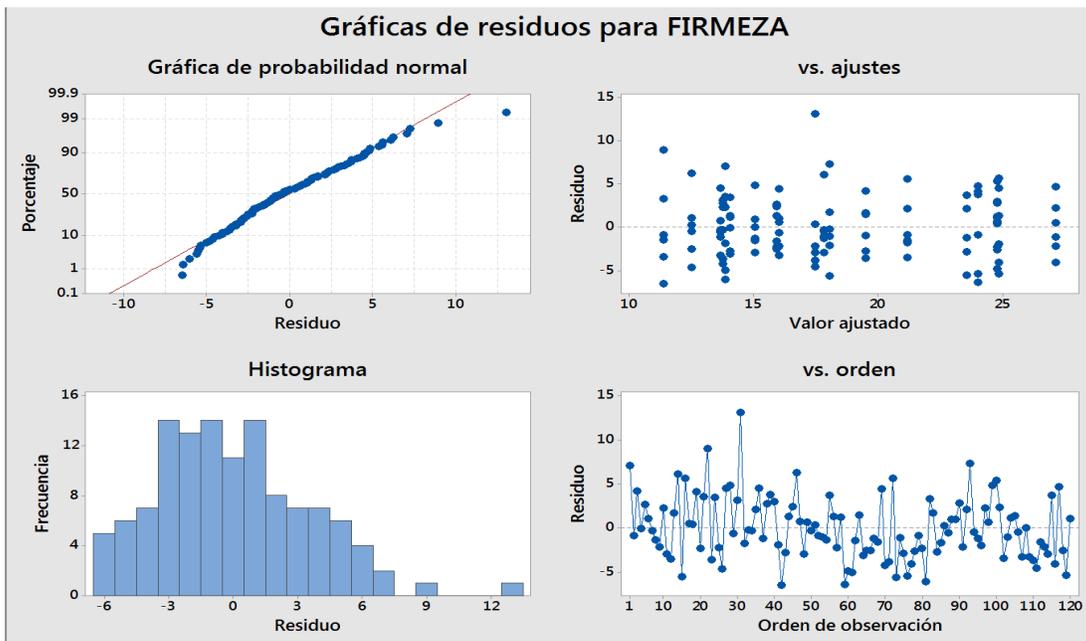


Figura 31. Gráficas de residuos para firmeza

7.4 Anexo 4. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro color en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento.

Análisis de varianza

Tabla 7. Análisis de varianza color

Factores:	2	Réplicas:	6		
Corridas base:	20	Total de corridas:	120		
Bloques base:	1	Total de bloques:	1		
Número de niveles: 2, 10					
Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
A	2	1, 2			
B	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	19	804.4	42.34	2.40	0.003
Lineal	10	439.6	43.96	2.49	0.010
A	1	306.3	306.29	17.35	0.000
B	9	133.3	14.81	0.84	0.582
Interacciones de 2 términos	9	364.9	40.54	2.30	0.022
A*B	9	364.9	40.54	2.30	0.022
Error	100	1765.2	17.65		
Total	119	2569.6			

Medias

Tabla 8. Medias factor 1 y 2 color

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
A		
1	59.854	0.542
2	56.659	0.542
B		
1	59.32	1.21
2	59.18	1.21
3	56.94	1.21
4	59.85	1.21
5	56.81	1.21
6	56.83	1.21
7	58.10	1.21
8	58.01	1.21
9	59.02	1.21
10	58.50	1.21

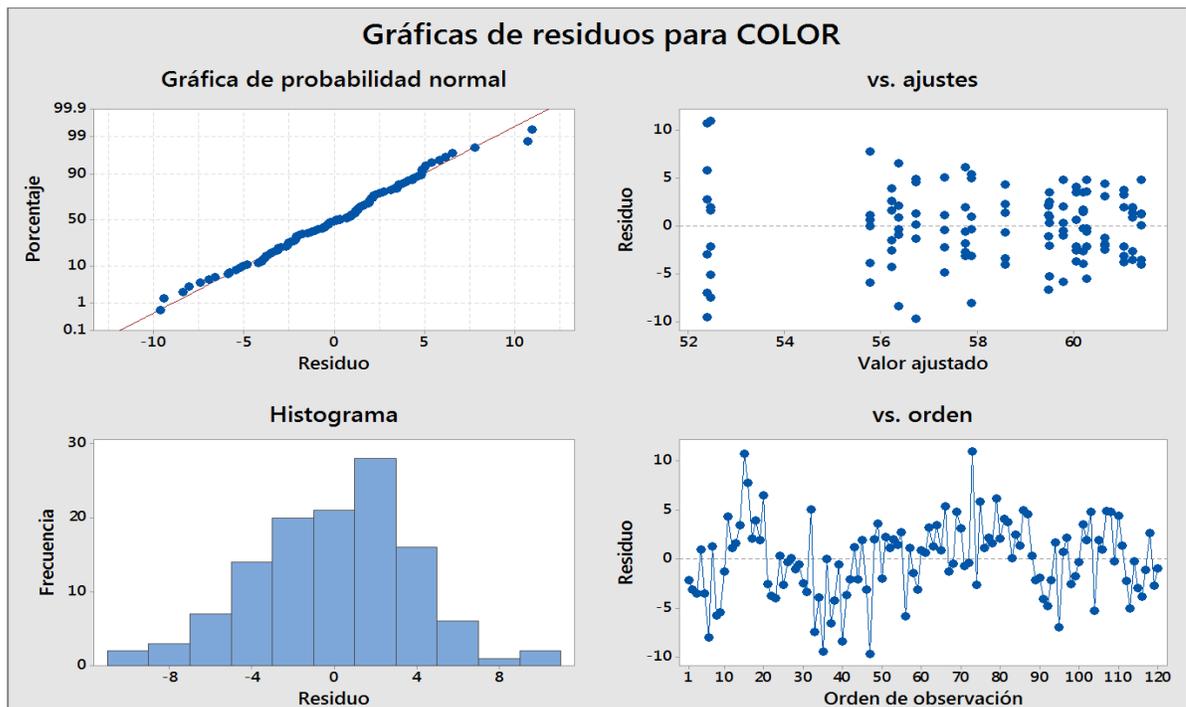


Figura 32. Gráficas de residuos color

Las gráficas de residuos muestran que los análisis fueron realizados con datos que provienen de una población normal

7.5 Anexo 5. Análisis de varianza y pruebas de medias para el parámetro humedad en tortillas germinadas y no germinadas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento.

Análisis de varianza

Tabla 9. Análisis de varianza humedad

Factores:	2	Réplicas:	6		
Corridas base:	20	Total de corridas:	120		
Bloques base:	1	Total de bloques:	1		
Número de niveles: 2, 10					
Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
A	2	1, 2			
B	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	19	1442.01	75.90	7.04	0.000
Lineal	10	938.54	93.85	8.70	0.000
A	1	39.84	39.84	3.69	0.057
B	9	898.69	99.85	9.26	0.000
Interacciones de 2 términos	9	503.48	55.94	5.19	0.000
A*B	9	503.48	55.94	5.19	0.000
Error	100	1078.75	10.79		
Total	119	2520.77			

Medias

**Tabla 10. Medias factor 1 y 2
humedad**

Término	Media ajustada	Error estándar de la media
A		
1	17.198	0.424
2	16.045	0.424
B		
1	24.111	0.948
2	14.726	0.948
3	16.170	0.948
4	18.652	0.948
5	14.780	0.948
6	16.265	0.948
7	15.702	0.948
8	14.516	0.948
9	15.344	0.948
10	15.951	0.948

Se muestran en las gráficas de residuos que los datos a pesar de haber sufrido una transformación para poder ser utilizados, siguen distribuyéndose normalmente a pesar de este cambio.

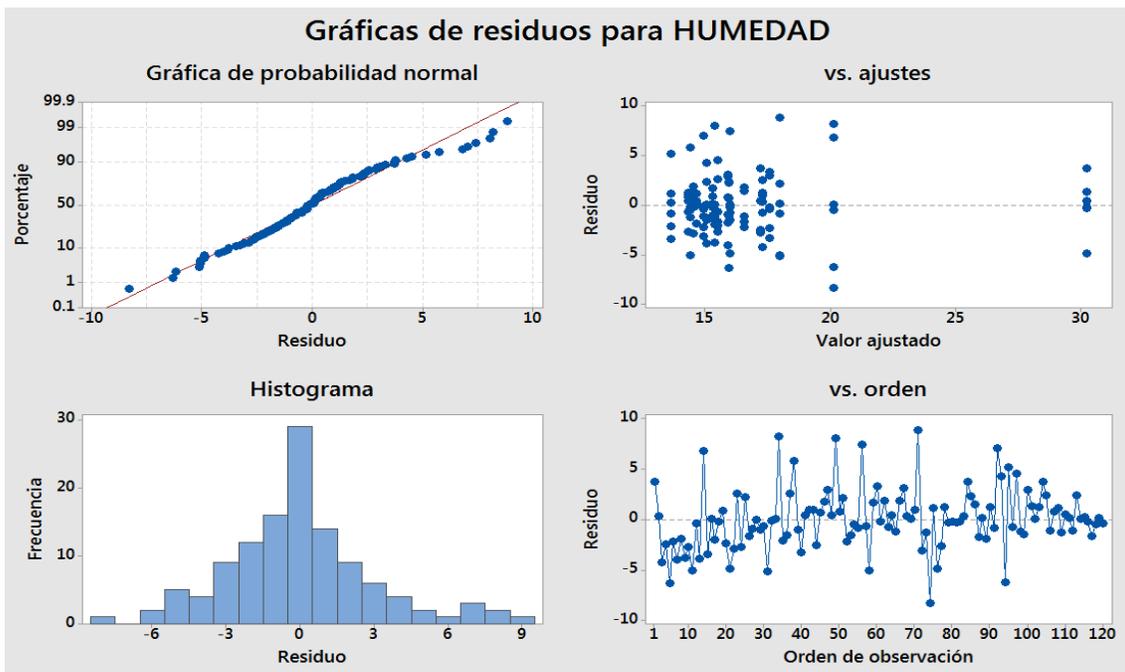


Figura 33. Gráficas de residuos humedad