



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“VIDA DE ANAQUEL DE LA HARINA DE TRIGO (*Triticum
aestivum* L.) EXTRUIDA, ELABORADA POR EL MOLINO SAN
MIGUEL E.I.R.L, MEDIANTE PRUEBAS DE VIDA ÚTIL
ACELERADAS”.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTOR

Bach. PEREIRA ALCEDO TATHIANA DEL ROSARIO

ASESOR

Ing. M. Sc. GUERRERO BRACO JAMES JENNER

LAMBAYEQUE-PERU

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“VIDA DE ANAQUEL DE LA HARINA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EXTRUIDA,
ELABORADA POR EL MOLINO SAN MIGUEL E.I.R.L,
MEDIANTE PRUEBAS DE VIDA ÚTIL ACELERADAS”.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTOR

Bach. PEREIRA ALCEDO TATHIANA DEL ROSARIO

APROBADO POR:

M.Sc. Ing. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno

PRESIDENTE DEL JURADO

Dra. Ing. Noemí León Roque

SECRETARIO DEL JURADO

M. Sc. Ing. Luis Antonio Pozo Suclupe

VOCAL

M. Sc. Ing. James Jenner Guerrero Braco

ASESOR

LAMBAYEQUE-PERÚ, 2017

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
I. FUNDAMENTO TEÒRICO	3
1.1. Aspectos generales sobre trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	3
1.1.1. Características botánicas	3
1.1.2. Clasificación del trigo	3
1.1.3. Características de los trigos	4
1.1.4. Estructura del grano de trigo	5
1.1.5. Situación del trigo.....	7
1.1.6. Exigencias del cultivo	13
1.1.7. Composición química y valor nutricional.....	14
1.2. HARINA DE TRIGO	28
1.2.1. Clases de harina	29
1.2.2. Consideraciones Generales	31
1.2.3. Harina de trigo extruida	33
1.3. FORMAS DE DETERIORO DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUIDA	40
1.3.1. Enranciamiento oxidativo o auto oxidación.....	40
1.3.2. Ganancia de humedad	42
1.4. VIDA ÚTIL DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUIDA	45
1.4.1. Vida útil	45
1.4.2. Factores que afectan la calidad del tiempo de vida útil.....	46
1.4.3. Cinética de peróxido.....	46
1.4.4. Vida útil de alimentos empacados	47
1.5. ESTUDIO ACELERADO DE VIDA DE ANAQUEL	55
1.6. TIPOS DE EMPAQUES USADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	57
1.6.1. Polietileno de baja densidad.....	57
1.6.2. Polietileno de alta densidad.....	58
II. MATERIAL Y MÉTODOS	61
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	61
2.2. MATERIALES, REACTIVOS.....	61
2.2.1. Materiales.....	61
2.2.2. Reactivos	61
2.2.3. Equipos	62

2.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	62
2.3.1.	Obtención de las muestras	62
2.3.2.	Codificación de las muestras.....	62
2.3.3.	Almacenamiento de las muestras.....	63
2.3.4.	Métodos de análisis.....	63
2.3.5.	Determinación del orden y constantes de reacción del índice de peróxidos 6 su dependencia con la temperatura.....	65
2.3.6.	Determinación de la ganancia de humedad en el conjunto alimento - empaquete	66
2.3.7.	Análisis estadístico	67
III.	RESULTADOS	68
3.1.	VIDA ÚTIL A TRAVÉS DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO	68
3.2.	VIDA ÚTIL A TRAVÉS DE LA GANANCIA DE HUMEDAD	73
3.2.1.	Cálculo de la isoterma de adsorción	73
3.2.2.	Tiempo de vida útil calculados para la ganancia de humedad	76
IV.	DISCUSIÓN	79
4.1.	ORDEN DE REACCIÓN	79
4.2.	CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN	79
4.3.	ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	80
4.4.	GANANCIA DE HUMEDAD	80
4.5.	DISCUSION DE RESULTADOS OBTENIDOS	82
V.	CONCLUSIONES	84
VI.	RECOMENDACIONES	85
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86
VIII.	ANEXOS.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 01. Rendimiento promedio de la harina de trigo (Kg/ha), en las regiones del Perú.....	10
Tabla 02. Exportaciones, producción, consumo y stock finales mundiales de trigo	12
Tabla 03. Intervalo de variación en la concentración de los principales componentes del trigo	15
Tabla 04. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.....	20
Tabla 05. Clasificación de las proteínas de harina de trigo con base en su funcionalidad	22
Tabla 06. Clasificación de las proteínas del gluten, gluteninas y globulinas, con base a sus pesos moleculares.....	23
Tabla 07. Clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre	24
Tabla 08. Composición proximal (%) del trigo y otros granos	28
Tabla 09. Contenido de vitaminas en quinua y otros cereales (mg/100 g)	28
Tabla 10. Clases de harina de trigo	30
Tabla 11. Requisitos fisicoquímicos de la harina de trigo en sus diferentes clases de presentación	30
Tabla 12. Normas de calidad para harina de trigo requeridas por la NTP.....	30
Tabla 13. Cantidades mínimas a adicionar por kilogramo de harina de trigo, respecto nutrientes.....	31
Tabla 14. Tolerancias aceptables respecto a los siguientes análisis fisicoquímicos	32
Tabla 15. Pesos netos según la tolerancia del envase	33
Tabla 16. Composición del producto	33
Tabla 17. Límites microbiológicos de la harina de trigo extruida	39
Tabla 18. Oxidantes en los alimentos.....	40
Tabla 19. Propiedades del polietileno de baja densidad (LDPE)	58
Tabla 20. Propiedades del polietileno de alta densidad (HDPE).....	59
Tabla 21. Presión de vapor saturado en Pascales.....	60
Tabla 22. Programación de análisis para la determinación de índice de Peróxido.....	64
Tabla 23. Programación de análisis fisicoquímicos para la determinación del % de humedad.....	65
Tabla 24. Valores de índice de Peróxido (IP) con su desviación estándar (δ) en harina de trigo extruida, almacenadas en diferentes temperaturas.....	67

Tabla 25. Grado de ajuste (τ^2) para las regresiones lineales a diferentes temperaturas..	69
Tabla 26. Constantes de velocidad del índice de Peróxido de la harina de trigo extruida a cada temperatura de almacenamiento	70
Tabla 27. Logaritmo neperiano de la constante de velocidad contra la inversa de la temperatura en kelvin	71
Tabla 28. Datos experimentales para la determinación de las isothermas de adsorción lineal de la harina de trigo extruida	73
Tabla 29. Valores del % humedad en harinas de trigo extruida, con sus valores convertidos a base seca, almacenadas a 40 °C durante 70 días	76
Tabla 30. Tiempos de vida útil simulados para la harina de trigo extruida elaborada por el molino San Miguel E.I.R.L. a las temperaturas de almacenamiento de 40, 23 y 7 °C para la determinación de ganancia de humedad e índice de peróxido.....	77
Tabla 31. Tiempos de vida útil estimados de la harina de trigo extruida calculados en diferentes envases a una temperatura de almacenamiento de 23 °C.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Estructura del grano de trigo en sección longitudinal y transversal.....	7
Figura 02. Evolución superficial cosechada (miles de hectáreas) y producción (miles de toneladas).....	9
Figura 03. Rendimiento promedio de la harina de trigo (kg/ha), en las regiones del Perú	11
Figura 04. Situación mundial de la producción, consumo y stocks de grano de trigo	13
Figura 05. Etapa de iniciación de la autooxidación.....	41
Figura 06. Etapas de reacción de la propagación de la autooxidación	42
Figura 07. Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la A_w	44
Figura 08. Ganancia de humedad de un sistema en estado estacionario (constante) versus condiciones no estacionarias (Actual)	50
Figura 09. Típica isoterma de sorción y la asunción de la linealidad, donde m_i : humedad inicial, m_c : humedad crítica y m_e : humedad de equilibrio	51
Figura 10. Requerimientos para cálculos de Shelf Life.....	59
Figura 11. Interior de la incubadora a la temperatura de 40 °C, con depósitos llenos de agua	66
Figura 12. Medias del índice de peróxido a diferentes temperaturas.....	69
Figura 13. Curvas exponenciales para el índice de peróxido	70
Figura 14. Grafica Típica de Arrhenius de formación de peróxidos de la harina de trigo extruida, con respecto a la temperatura.....	71
Figura 15. Isoterma de sorción Isoterma de sorción lineal (---) y la isoterma de sorción de GAB (---).....	74
Figura 16. Simulador de Ganancia de Humedad	74
Figura 17. Simulaciones de Ganancia de Humedad considerando la isoterma lineal (---) y la isoterma de GAB (---) en comparación con los resultados experimentales (▲).....	75

*Nuestra recompensa se encuentra
en el esfuerzo y no en el resultado.
Un esfuerzo total es una victoria
completa.*

Mahatma Gandhi

1869-1948

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Como no amarte mi Dios si eres participe en cada momento bueno y malo de mi vida, gracias por siempre mantener intacta mi fe en ti.

A mi madre Mélida Alcedo Pérez por tu abnegada labor hacia nosotras y por todo tu esfuerzo de siempre vernos como las profesionales que somos mi hermana y yo, eres el impulso y motivo de mi vida, te amo mamá.

A Víctor Pereira Ríos por tu constante preocupación y ayuda, los mejores recuerdos de mi niñez siempre están contigo, siempre serás mi querido padre.

A Olga Flor Pérez Cabrejos viuda de Alcedo por tu constante apoyo y ayuda, sin ti estos años de mi vida universitaria no hubieran sido los mismos, gracias por tanta paciencia, comprensión y generosidad, te amamos mamá Olga.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres: Madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos, por siempre estar ahí. A mi padre por tu apoyo, por guiarme a ser mejor cada día y por darme la vida, que no pude haber logrado sin ustedes, su apoyo y esfuerzo lo son todo para mí, agradezco el día a día por seguir aún enseñándome las cosas de la vida y que a pesar de la distancia me demostraron que siempre estaban ahí cuidándome y protegiéndome.

A mi Hermana, primos, Tíos por sus consejos que me ayudaron a crecer como persona y profesional. Gracias FAMILIA y AMIGOS que han soportado mis momentos de stress y a los que he tenido que privar muchas veces de mi compañía. Gracias también a mis actuales compañeros de trabajo por entenderme y apoyarme en la finalización de esta etapa.

A mi amor Robert, por hacer que me sienta especial cada día, y muchas gracias que de no ser por tus constantes motivaciones a seguir mi tesis y olvidarme un poco del trabajo todo esto no hubiera sido posible, gracias porque desde que llegaste a mi vida eres mi felicidad... Llegaste justo cuando culminaba la carrera y ahora formas parte de mi vida. Gracias por su inestimable ayuda, por tu amor, paciencia y apoyo durante este largo camino y por todo lo que nos queda por vivir juntos, eres el hombre de mi vida... Te Amo!

A mi asesor de tesis el M. Sc. Ing. James Guerrero Braco, por su paciencia y apoyo incondicional, gracias por la preocupación y motivación.

A mi Co-asesor M. Sc. Ing. Miguel Solano Cornejo por los conocimientos aportados en la carrera, como olvidar sus conocimientos y aulas compartidas, gracias por el apoyo incondicional, la paciencia y la experiencia compartida de maestro y amigo.

Al personal técnico y administrativo por estar siempre disponibles a tenderte una mano.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la vida útil de la harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) extruida, elaborado por el Molino San Miguel E.I.R.L. mediante pruebas de vida útil aceleradas. Para ello se realizó el método experimental que consiste en la obtención, codificación, almacenamiento de muestras, métodos de análisis, determinación del orden y constantes de reacción del índice de peróxidos y su dependencia con la temperatura, evaluación de la ganancia de humedad de las muestras utilizando la interacción alimento – empaque, análisis estadístico y tiempo de vida útil para la ganancia de humedad. Obteniendo como resultado lo siguiente:

Para determinar el Índice de Peróxido (IP) a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C y con un periodo de evaluación de 7 semanas, se obtuvo el IP de 3.20, 4.29, 4.31 y 5.37 respectivamente.

Para la determinar el orden de reacción para el índice de peróxido, se siguió una cinética de primer grado obteniendo que a 30° C es de 0,974; a 40 °C es de 0,958; a 50 °C es de 0,941 y a 60 °C es de 0,993.

Para determinar la constante de velocidad de reacción del índice de peróxido a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C se obtuvo 0.102 K(semillas-1), 0.109, 0.147 y 0.155 respectivamente.

Para determinar % de humedad de la harina de trigo extruida almacenada en condiciones aceleradas (40 °C, 85% HR), se obtuvo que durante 70 días el porcentaje de humedad almacenada a 40 °C se dio de 5.5 a 11.8.

Para determinar el tiempo de vida útil de harina de trigo extruida considerando el índice de peróxido y la ganancia de humedad, se obtuvo que el tiempo de vida útil (TVU) en días para las temperaturas de 45, 23 y 7 °C con relación a la ganancia de humedad es de 69, 111 y 404 respectivamente. Para el índice de peróxido el TVU en días es de 111, 162 y 219 respectivamente a las temperaturas.

Se concluyó que se debe tener en cuenta que las temperaturas de análisis para el cálculo del TVU se determinan considerando el ambiente en el cual será su almacenamiento (Lambayeque y Cajamarca).

ABSTRACT

This research has as main objective to determine the useful life of the extruded wheat flour (*Triticum aestivum* L), elaborated by Molino San Miguel E.I.R.L. through accelerated life tests. in order to do this, the experimental method was the preparation, coding, storage of samples, methods of analysis, determination of the order and reaction constants of the peroxide index and their dependence on temperature, evaluation of the humidity gain of the samples using food - packaging interaction, statistical analysis and shelf - life for moisture gain. obtaining the following:

To determine the Peroxide Index (PI) at temperatures of 30, 40, 50 and 60 ° C and with a period of evaluation of 7 weeks, the IP was obtained of 3.20; 4.29; 4.31 and 5.37 respectively.

To determine the order of reaction for the peroxide index, a first degree kinetics was obtained obtaining that at 30 ° c is 0.974; at 40 ° c is 0.958; at 50 ° c is 0.941 and at 60 ° c is 0.993.

To determine the reaction rate constant of the peroxide index at temperatures of 30, 40, 50 and 60 ° c, 0.102 k (weeks-1), 0.109, 0.147 and 0.155 respectively were obtained.

To determine% moisture of the extruded wheat flour stored under accelerated conditions (40 ° c, 85% rh), it was found that for 70 days the percentage of moisture stored at 40 ° c was given from 5.5 to 11.8.

To determine the shelf life of extruded wheat flour by considering the peroxide index and the moisture gain, it was obtained that the shelf life (TVU) in days for temperatures of 45, 23 and 7 ° c relative to the humidity gain is 69, 111 and 404 respectively. For the peroxide index the TVU in days is 111, 162 and 219 respectively at temperatures.

It was concluded that it should be taken into account that the analysis temperatures for the tvu calculation are determined considering the environment in which it will be stored (Lambayeque and Cajamarca)

INTRODUCCION

A nivel mundial el trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana. La importancia del trigo en la dieta de los seres humanos reside principalmente en su alto valor energético, además de que contiene más proteínas que el maíz y el arroz. A su ventaja nutritiva se le suman sus características de procesamiento únicas entre los cereales, que lo colocan entre los que más se utilizan como materia prima para elaborar una gran diversidad de alimentos procesados y varios otros productos no alimentarios. Lo anterior justifica y explica la importancia del trigo tanto en el abasto como en la economía y la generación de empleos, ambos a nivel mundial (FAO, 2008). En el Perú, este cereal fue introducido por los españoles en forma casual alrededor del año 1540, en una remeza de garbanzos.

Fueron tres damas españolas las que difundieron e introdujeron los primeros trigos, los cuales se sembraron en los alrededores de Lima y adquirieron gran importancia (Ruiz, Cotrina & Neef, 2006). La preservación de las harinas instantáneas es dependiente de la combinación de múltiples factores y un sin fin de reacciones bio-físico-químicas, y si entendemos estas reacciones y sus mecanismos respectivos sería bastante exitosa la limitación de aquellos factores que tienen mayor influencia o responsables en la alteración o pérdidas de las características deseables en los alimentos (Cabeza, 2011).

En el análisis de la harina de trigo por parte del Ingeniero de Alimentos se debe considerar parámetros establecidos, tales como el alto contenido de grasa en el grano. Estas grasas pueden oxidarse con el tiempo y volverse rancias, lo que genera sabores desagradables. Debido a su vida útil limitada, de dos a tres semanas después de la molienda, la harina de trigo debe ser utilizada lo más rápido posible y, en climas calientes, se recomienda mantener en el congelador para limitar su oxidación (Martínez, 2012).

Su finalidad es determinar el tiempo de vida útil de la harina de trigo extruida, elaborada por el Molino San Miguel E.I.R.L, ya que este producto carece de un análisis preciso como lo es estudio de anaquel, para obtener un producto de calidad.

El modelo matemático utilizado para describir el efecto de temperatura sobre las velocidades de reacciones químicas y procesos biológicos en los alimentos, ha sido el modelo de Arrhenius, que asume un orden de reacción fijo para las diferentes temperaturas de estudio, difícil de alcanzar por la complejidad de las reacciones y la variedad de sus componentes.

Por ello suelen requerirse grandes esfuerzos experimentales y largos procedimientos para validar la linealidad del modelo de Arrhenius y así asegurar la correcta predicción del tiempo de vida útil (Vidaurre y Solano, 2014).

Recientemente se ha propuesto un nuevo enfoque optando por modelos no lineales que utilizan ecuaciones empíricas para modelar el comportamiento de los compuestos de interés con respecto al tiempo, una de las propuestas se basa en el modelo de G.A.B usado en esta investigación (Peleg, Corradini y Normand, 2012).

Objetivos:

General:

Determinar el tiempo de vida en anaquel de la harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) extruida, elaborada por el Molino San Miguel E.I.R.L, mediante pruebas aceleradas.

Específicos:

- Determinar el índice de peróxido a diferentes tiempos y temperaturas de almacenamiento.
- Determinar el orden de reacción para el índice de peróxido.
- Determinar la constante de velocidad de reacción del Índice de Peróxido a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C y la energía de activación.
- Determinar el % de humedad de la harina de trigo extruida almacenada en condiciones aceleradas (40°C, 85%HR).
- Determinar el tiempo de vida útil de la harina de trigo extruida a diferentes condiciones de almacenamiento considerando la formación de peróxidos y la ganancia de humedad.

I. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. ASPECTOS GENERALES SOBRE EL TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

1.1.1. Características Botánicas

Planta gramínea anual, de la familia de los Gramineaceae, con espigas de cuyos granos molidos se saca la harina. Su nombre científico es *Genus triticum*.

Es uno de los cereales más usados en la elaboración de alimentos. Planta herbácea anual, hasta de 1,5 m. de altura. Tallo en forma de caña delgada, simple, nudosa, cilíndrica. Hojas envainadas, alternas, largas, lineales, lanceoladas, enteras, liguladas, nervuda central prominente. Flores glumosas, aristadas, reunidas en panículas de espigas sésiles, terminales densas, alternas a lado y lado de caquis. Fruto cariósido, seco, oval.

Es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. Actualmente, los trigos duros o cristalinos se clasifican botánicamente como *Triticum turgidum*, subespecie *durum*, y los harineros como *Triticum aestivum*, subespecie *vulgaris* (Arango, 2007).

1.1.2. Clasificación del Trigo

1.1.2.1. Clasificación botánica del trigo

Reino: Plantae

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Gramineaceae

Tribu: Triticeae

Género: *Triticum* L.

Especie: *Triticum aestivum*

1.1.2.2. Clasificación general del trigo

En general el trigo puede distinguirse en función de su ciclo:

a. Trigo de invierno o de ciclo

Es el trigo que se siembra en otoño y se recoge en primavera, es el que utiliza en nuestro país.

b. Trigo de primavera o de ciclo corto

Es el trigo que se siembra en primavera y se recoge en verano, es propio de países muy fríos. De esta forma se evitan las heladas del invierno que estropearían el trigo.

1.1.3. Características de los Trigos

Las características del trigo según Guerrero, 2007 son:

a. Color

El color de los granos de trigo va desde blanco amarillento hasta rojizo oscuro, pasando por el melado. En general, el color rojizo del grano va unido a la mala calidad.

b. Peso por hectólitro

El peso por hectólitro nos da también una medida de calidad de los trigos. Un trigo es de mejor calidad cuanto mayor es su peso específico o peso por hectólitro. Su valor oscila entre 73 y 84, aunque generalmente se encuentra entre 73 y 80.

El peso por hectolitro depende, fundamentalmente, de la densidad de las materias que componen el grano, que es característica de cada variedad, pero también depende de otras variables, como son la humedad, contenido de impurezas, uniformidad de los granos y condiciones en que se haya realizado la maduración. Si en el momento de la maduración se produce asurado, los granos el que estén atacados o no por paulilla, gorgojo, etc.

c. Grado de extracción o rendimiento por molienda

Se llama grado de extracción o rendimiento en molienda la cantidad de harina panificable que se puede obtener de la molienda del trigo.

Este rendimiento oscila entre el 70 y el 75%. El resto son harinillas, salvados, etc. que, aunque no son panificables, sirven para pienso de los animales.

Como norma general, se dice que el rendimiento en molienda no excede nunca del peso por hectólitro de los gramos. Depende de la variedad y también de la perfección del sistema de molienda y separación de la harina de los salvados.

d. Calidad harina - panadera

La calidad harina-panadera de un trigo está relacionada con su “fuerza” o “valor plástico”. Esta “fuerza” depende de la cantidad y calidad de las proteínas que contiene el grano de trigo. La glialina y la glutamina componen el esqueleto de las células del albumen y estas proteínas, al hidratarse, forman gluten.

Glialina + glutamina + agua + sales minerales = gluten

La calidad de este gluten es la que da la fuerza o capacidad de dar panes voluminosos y de textura esponjosa. El gluten malo es poco elástico y da panes de mala calidad.

1.1.4. Estructura del grano de trigo

El tamaño de los granos de trigo varía según el tipo de trigo, pero en promedio pesa cerca de 35 mg. con una longitud de 8 mm; tienen su parte dorsal redonda y lisa, a excepción de una hendidura o surco que se encuentra sobre el área del germen. En la Figura 1 se muestra la estructura del grano de trigo en sección longitudinal y transversal (Pozio, 2010).

Estructuralmente, el grano consiste en tres partes anatómicas principales: el afrecho o envoltente (salvado), el germen o embrión y el endospermo, como se detalla a continuación:

a. Salvado

Es la parte externa del grano, sirve de cubierta protectora y constituye alrededor del 14% del grano. Está formado por el pericarpio, cubierta de la

semilla y epidermis nucelar y se caracteriza por tener alto contenido de fibra, cenizas y carecer de almidón.

El salvado se destina principalmente a alimentos para animales y sólo en pequeñas cantidades para consumo humano, como fuente de fibra dietaría.

b. Germen

Es la fricción más pequeña constituyendo del 2,3 – 2,5% del grano. Se encuentra en la parte dorsal del grano y se compone de dos partes principales que son el eje embrionario (o embrión) y el escutelo, los cuales funcionan como almacén de nutrientes.

El germen se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido de aceite; además, genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación (Pozio, 2010).

c. Endospermo

Se compone principalmente de almidón y proteína; constituye alrededor del 83% del grano y está formado por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. La primera fila de células, son las periféricas. Estas células son generalmente pequeñas, se caracterizan por su alto contenido proteico y por tener unidades de almidón pequeñas, nucleares y compactas.

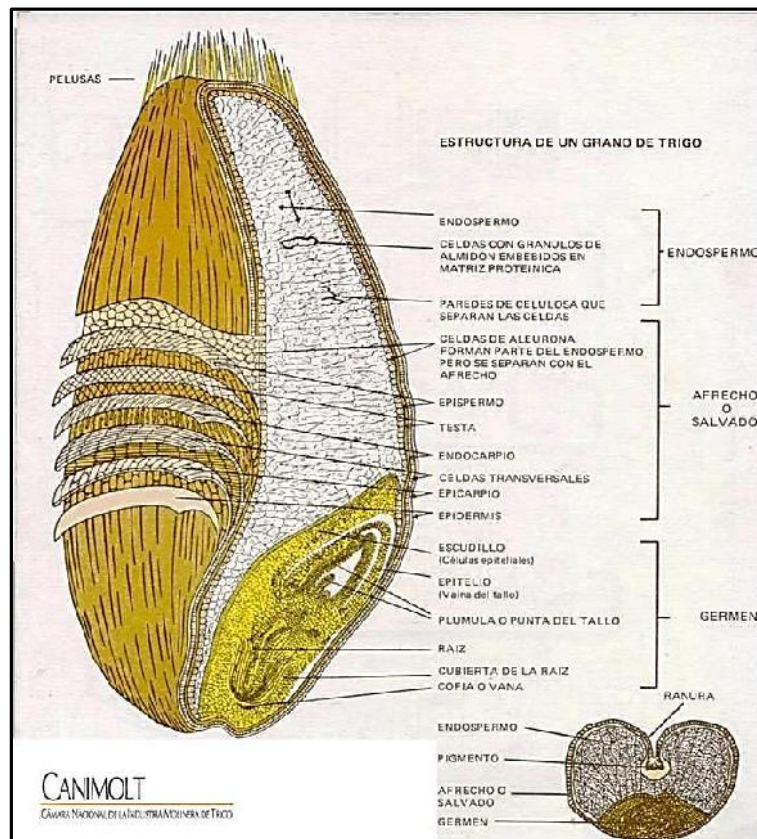


Figura 01. Estructura del grano de trigo en sección longitudinal y transversal.

Fuente: Pozio, (2010).

1.1.5. Situación del Trigo

1.1.5.1. Producción Nacional

El trigo en el Perú constituye la principal materia prima para la fabricación de harinas, destinadas a la elaboración de pan, fideos, galletas, sémola, etc. El valor bruto de la producción de trigo en el Perú en el año 2012 alcanzó los 112.1 millones de nuevos soles con un crecimiento del 5,6% con respecto al año 2011.

Representa el 0.86% del PBI del subsector agrícola del país. La producción nacional de trigo es insuficiente para cubrir la demanda interna, siendo muy pequeña la producción en relación al trigo importado.

El valor de la producción de harina de trigo fue de 966,2 millones de nuevos soles en el año 2012, con un crecimiento del 1,48% con respecto al año anterior. Este producto concentra alrededor de 6 535 665 de jornales a nivel nacional, de ahí su importancia en la generación de trabajo en las zonas rurales del Perú. La producción de trigo en el Perú al año 2012 fue de 226 135 toneladas, las importaciones se centran en dos productos: trigo duro con 173 631 toneladas y los demás trigos, excepto para siembras con 1'522 977 toneladas. Como se aprecia existe gran diferencia con respecto al nivel de producción actual.

Como se mencionó, el Perú en cuanto a producción de trigo es deficitario y para cubrir el consumo nacional de este alimento debe importarse de los principales países productores, como Argentina, Estados Unidos y Canadá. Estas importaciones vienen aumentando con los años, generando una dependencia cada vez mayor por este producto (Ministerio de Agricultura, 2013).

El crecimiento del volumen productivo de trigo ascendió en 15,33%, debido a la mayor área cosechada (3%), siendo los departamentos de mayor producción, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y Ancash (INEI, 2013).

En el Figura 2, se puede apreciar la evolución tanto de la superficie cosechada que ha venido creciendo anualmente a una tasa promedio en los últimos diez años de 1,1% y la producción a una tasa de 1,9%. El mayor nivel de producción se dio en el año 2009 con 226,3 miles de toneladas y la superficie cosechada fue de 158,1 miles de hectáreas.

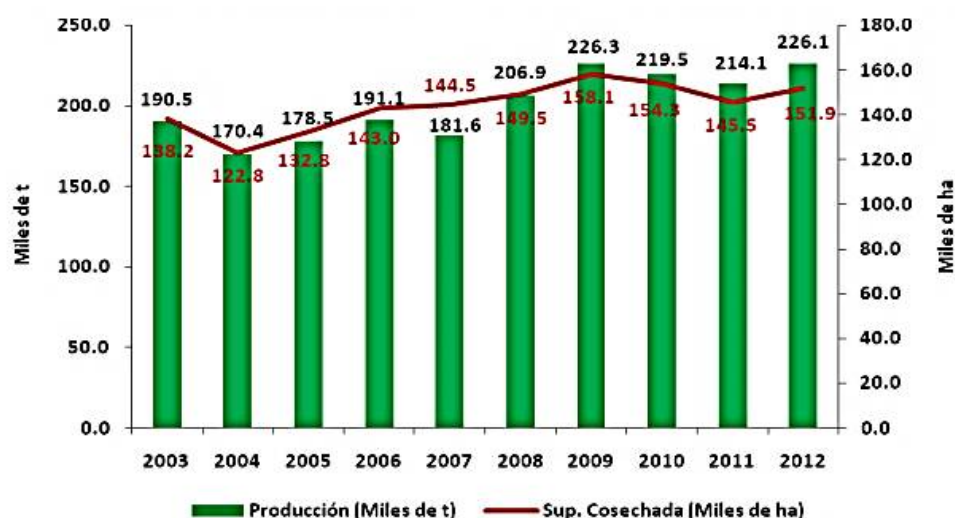


Figura 02. Evolución Superficial Cosechada (miles de hectáreas) y Producción (miles de toneladas).

Fuente: MINAGRI, (2012).

En cuanto a la evolución a nivel departamental de la superficie cosechada y producción a diciembre del año 2012, se tienen 151 915 hectáreas cosechadas, con un crecimiento del 4,4%, así como una producción de 226 135 toneladas, con un incremento de 5,6% con respecto al mismo periodo del año 2011. Los departamentos con mayor producción y superficie cosechada son Cajamarca, La Libertad, Ancash, Huánuco, Piura y Cusco; estos departamentos concentran al año 2012, el 70% de la producción a nivel nacional.

El rendimiento promedio nacional en el año 2012 fue de 1,489 kg/ha, registró un incremento del 1,1% con respecto al año 2011.

En el año 2012, el departamento que tiene el mejor rendimiento promedio es Arequipa con 6 714 kg/ha, seguido de Tacna con 3 045 kg/ha, Junín con 2 257 kg/ha, La Libertad con 1 888 kg/ ha, Cusco con 1 685 kg/ha y Apurímac con 1,583 kg/ha.

Tabla 01. Rendimiento Promedio de la harina de trigo (Kg/ha.), en las regiones del Perú.

Región	2011	2012	Var %
Piura	970	874	5,0%
Lambayeque	766	683	10,8%
La Libertad	1 858	1 888	1,6%
Cajamarca	1046	1 041	-0,5%
Ancash	995	1 001	0,6%
Huánuco	1 377	1 371	-0,4%
Junín	2 175	2 257	3,7%
Huancavelica	1 412	1 392	-1,5%
Arequipa	6 559	6 741	2,8%
Ayacucho	789	1 129	43,2%
Apurímac	1 251	1 583	26,5%
Cusco	1 615	1 685	4,3%
Tacna	3 667	3 045	16,9%
Promedio Nacional	1472	1489	1,1%

Fuente: MINAGRI, (2012).

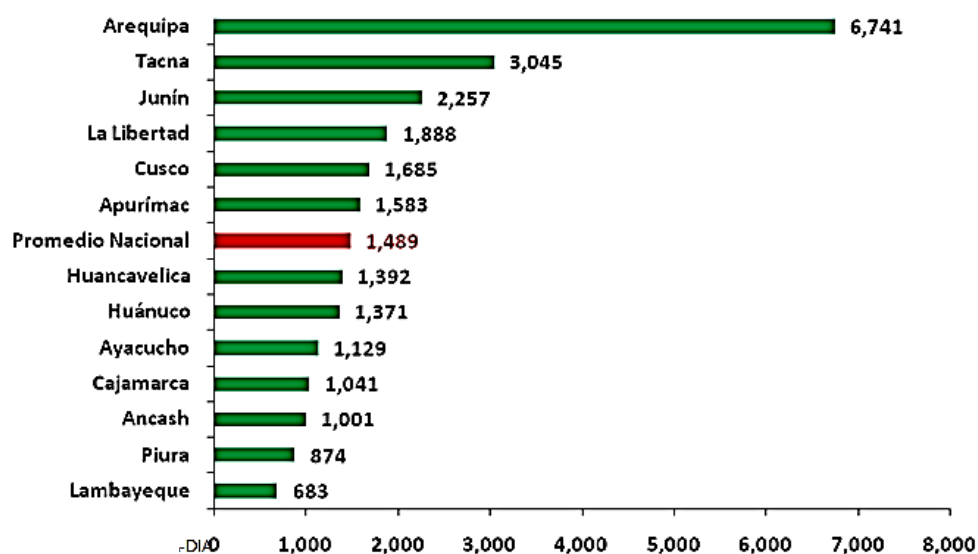


Figura 03. Rendimiento Promedio de la harina de trigo (Kg/ha), en las regiones del Perú.

Fuente: MINAGRI, (2012).

Estos departamentos mantienen rendimientos por encima del promedio nacional. Cabe destacar que los departamentos con mejores rendimientos no son los principales productores a excepción de La Libertad. Ver Tabla 1 y Figura 3.

1.1.5.2. Producción Mundial

En la Figura 4 se puede observar la evolución de la producción mundial de trigo para el período 1991 - 2014, a pesar de haber mostrado una tendencia levemente positiva, no se evidencia un incremento tan pronunciado como ocurre con la soja. En algunos países, producto de menor área sembrada y condiciones climáticas adversas, la producción ha disminuido. Por otro lado, el consumo ha mostrado una tendencia levemente positiva, esto es debido a que el consumo de trigo está íntimamente relacionado con el crecimiento de la población.

La Tabla 2 y la Figura 4 muestran la situación a nivel mundial del cultivo de trigo, en ellas se observa la evolución de los principales agregados. Los stocks finales vienen experimentando una tendencia decreciente a lo largo de las últimas campañas por lo que la relación stock/consumo también se ve reducida.

Tabla 02. Exportaciones, producción, consumo y stock finales mundiales de trigo.

	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Exportación	135,4	134,0	153,8	147,4
Producción	687,0	652,4	697,5	655,5
Consumo	654,2	655,2	697,1	679,3
Stock finales	201,8	199,0	199,4	175,6
Relación stock/ consumo	0,31	0,30	0,29	0,26

Fuente: USDA, (2014).

* millones de toneladas.

La producción del cereal (barras azules) ha mostrado una tendencia levemente creciente desde los años 90, aunque no tan espectacular como el incremento que se dio en soja. Las cosechas en algunos países han disminuido por la menor área sembrada y las condiciones climáticas adversas que acompañaron el desarrollo de los cultivos.

Como se observa en la Figura 4, en la última campaña la producción de trigo estuvo alrededor los 655 millones de toneladas, mientras que se espera en la campaña 2013 -2014 se llegue a los 700 millones de toneladas.

El consumo (barras lilas) de este producto agrícola está íntimamente relacionado con el crecimiento de la población, la tasa de variación es levemente positiva en las últimas campañas.

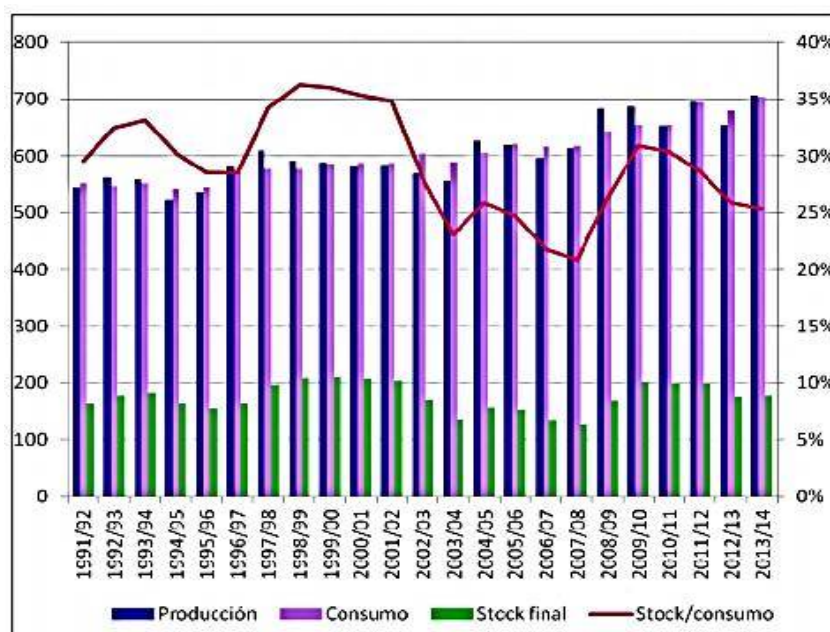


Figura 04. Situación mundial de la producción, consumo y stocks de grano de trigo.

Fuente: USDA, (2014).

Frente al panorama de menor oferta y con una demanda de estable a creciente, la relación stock/consumo (línea roja) ha tenido una creciente caída desde la campaña 2001 - 2002 alcanzando el mínimo de los últimos 30 años en 2007 - 2008. La reducción observada de la ratio stock/consumo responde a la menor producción obtenida en esas campañas frente a un consumo relativamente estable a creciente.

1.1.6. Exigencias del cultivo

a. Suelo

Es importante que las tierras donde se cultiva el trigo sean profundas, para que haya un amplio desarrollo del sistema radicular. Las tierras arcillosas tienen el inconveniente de que, por su poca permeabilidad, conservan mucha humedad en inviernos lluviosos. Las arenosas, en cambio, requieren mucha lluvia de primavera, dada su poca capacidad de retención. En general, serán mejores en secano las tierras que tengan capacidad de retención, pero que, a la vez, tengan un drenaje bueno.

El trigo tiene un pH del suelo óptimo entre 5,4 a 7,0 si bien tolera un pH más alto (Guerrero, 2007).

b. Clima

La integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1,850 °C y 2,375°C, aunque este concepto es muy relativo, pues mientras algunos estiman que el cero de vegetación no debe ser más de cero grados centígrados, otros creen que está a 4°C.

La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno, pero no estando el trigo muy desarrollado cuando lleguen las heladas, estas tienen un efecto beneficioso en las raíces.

El coeficiente de transpiración del trigo es de 450 a 550, es decir, que se necesitan de 450 a 550 litros de agua para elaborar 1 kg de materia seca. El trigo es una planta que necesita luz y, por otra parte, sabemos que el crecimiento se realiza con un determinado valor de fototropismo, que es diferente según las variedades (Guerrero, 2007).

1.1.7. Composición química y valor nutricional

Entre las harinas de los cereales solamente la de trigo tiene la capacidad de formar masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química y en especial a las proteínas y a su capacidad de formar gluten (Cuniberti, 2010).

La composición del trigo puede variar según la región, las condiciones de cultivo y el año de cosecha. La Tabla 3 muestra los intervalos típicos de la composición química de granos de trigo. Aunque el gluten se encuentra en la mayoría de los cereales (trigo, cebada o centeno) hay algunos cereales libres de gluten: arroz, maíz, trigo sarraceno o alfortón, avena, cereales andinos, como la quinua y el amaranto. Tampoco contienen gluten la soja ni las semillas de girasol.

Para el productor y acopiador es importante la proteína ya que incide en el precio del grano al formar parte estándar de comercialización, con bonificaciones y descuentos por encima o por debajo de la base de comercialización del 11%. En cambio, al molinero le interesa el contenido de gluten más que la proteína y eso se debe a que la proteína puede estar desnaturalizada por un almacenaje inadecuado o por secado del grano a altas temperaturas, haciendo que no formen gluten (Guerrero, 2007).

Tabla 03. Intervalo de variación en la concentración de los principales componentes del trigo.

Composición química del trigo (%)		
Componentes	Mínimo	Máximo
Humedad	8,0	18,0
Almidón	60,0	68,0
Proteína	7,0	18,0
Lípidos	1,5	2,0
Fibra cruda	2,0	2,5
Cenizas	1,5	2,0

Fuente: Cuniberti, (2010).

a. Carbohidratos

Los hidratos de carbono se forman a partir de dióxido de carbono y agua durante la fotosíntesis. Estos sirven como estructura de soporte en la planta y la semilla, son la fuente de energía para muchas de las reacciones metabólicas y se depositan en la semilla para suministrar energía durante el desarrollo de la nueva planta. Los mono y disacáridos se encuentran en el grano en muy pequeñas cantidades, fructosa 0,06%, glucosa 0,08%, galactosa 0,02%, sacarosa 0,54% y maltosa 0,05% (porcentajes de materia seca). Los oligosacáridos, como la rafinosa (0,19%) también se encuentran en proporciones muy bajas (Cuniberti, 2010).

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón. El almidón es el hidrato de carbono mayoritario en el grano de trigo maduro, representando entre el 65-70% de la harina de trigo (suponiendo una tasa de extracción del 80% y una humedad del 14%). El almidón se acumula en forma de gránulos que se forman dentro de los amiloplastos.

Los gránulos de almidón de la harina de trigo y de otros cereales muestran una distribución de tamaño bimodal, los gránulos más pequeños (tipo-B) son esféricos y presentan un diámetro inferior a 10 μm , en tanto que los grandes (tipo-A) son lenticulares y tienen un diámetro cercano a 20 μm . El interior de los gránulos está formado por regiones cristalinas y amorfas alternas, por lo que el almidón es descrito como un polímero semicristalino o parcialmente cristalino (Edel & Rosell, 2007). Las propiedades funcionales del almidón se deben esencialmente a los dos hidratos de carbono de mayor masa molecular, amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal compuesta de α -D-glucopiranosas unidas por enlaces glicosídicos α - (1-4), aunque se ha establecido que algunas moléculas son ramificadas a través de enlaces α -(1-6). La amilopectina, por el contrario, es un polímero altamente ramificado con masas moleculares superiores a 108. La cadena principal está formada por α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α -(1-4) y eslabonadas con cientos de pequeñas cadenas mediante enlaces α -(1-6) en los puntos de ramificación. El enlace α -1,4 imparte a la molécula un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal (Edel & Rosell, 2007). Los gránulos de almidón, debido a su estado nativo parcialmente cristalino, experimentan, cuando son sometidos a tratamiento térmico, distintos cambios o transiciones de fase, entre los que destacan los llamados gelatinización y retrogradación (Roccia, 2011). Estos cambios van a influir en el volumen final de los productos horneados y en su tendencia al endurecimiento, y dependerán, entre otros factores, de la proporción amilosa/amilopectina.

El endospermo del grano de trigo también contiene una pequeña proporción de polisacáridos, además del almidón, que nutricionalmente se incluyen dentro del grupo de las fibras, entendiéndose como tal a todos aquellos componentes de las células vegetales resistentes al hidrólisis enzimática que se produce en el proceso digestivo, y que incluye a los polisacáridos no digeribles y las ligninas. Estos componentes son mayoritariamente arabinoxilanos y β -D-glucanos solubles, además de pequeños porcentajes de celulosa y glucomananos.

El endospermo del grano de trigo tiene cantidades relativamente altas de arabinoxilanos y muy bajas de β -D-glucanos. A su vez, las paredes celulares de las capas de salvado de los granos presentan una apreciable cantidad de celulosa y arabinoxilanos.

b. Proteínas

Las proteínas de los granos de trigo se pueden dividir en dos grandes grupos: las proteínas del gluten y aquellas que no forman gluten. Las primeras se denominan proteínas de almacenamiento y constituyen alrededor del 75 - 80% del total. Entre las proteínas no formadoras de gluten, que representan el 20 - 25% del contenido total, se encuentran la mayoría de las enzimas.

El gluten es definido como un gel formado por las proteínas de almacenamiento del grano de trigo cuando se trabaja mecánicamente una mezcla de harina y agua. Se puede obtener lavando masa con agua para eliminar el almidón y los componentes solubles. El gluten está formado por un 80% de proteínas y un 8% de lípidos, base sustancia seca, con un resto de hidratos de carbono y cenizas, según Roccia (2010), aunque dicha composición varía con el método de extracción.

Las propiedades reológicas de la masa son gobernadas por la estructura del gluten y las interacciones que se establecen entre las proteínas que lo componen, particularmente entre los macropolímeros de gluteninas unidos por enlaces disulfuro (Edel & Rosell, 2007).

Las proteínas que integran el gluten se encuentran localizadas en cuerpos proteicos en el endospermo del grano; durante el amasado se produce la ruptura de estos cuerpos y su hidratación, formando una red tridimensional continua en la cual se encuentra embebido el almidón. Las interacciones de tipo covalentes y no covalentes entre los polipéptidos más grandes que forman la masa producen una matriz elástica y extensible.

Los elementos estructurales responsables de esta propiedad particular son los puentes disulfuro, interacciones iónicas e hidrofóbicas y secuencias ricas en glicina (Belitz *et al.*, 1986). Tanto los enlaces covalentes, puentes disulfuro intermoleculares, como las interacciones no covalentes son importantes en la formación y el comportamiento de la masa. Cada una de las proteínas que forman el gluten tiene una función específica. Así las gliadinas son proteínas monoméricas responsables de la viscosidad del gluten, constituyendo un tercio de las proteínas de la harina (Edel & Rosell, 2007).

Clasificación:

Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en: Solubilidad y Funcionalidad

1. Con base en su solubilidad

Esta clasificación fue desarrollada por Osborne (1924) y consiste en una serie de extracciones consecutivas con: agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos. Usando esta secuencia de separación, las proteínas se pueden clasificar en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas respectivamente. La Tabla 4, muestra las proteínas presentes en las diferentes fracciones, además su papel biológico y funcional (Goesaert, Bris & Veraberbeke, 2009).

Una fracción importante de proteínas se excluye de las fracciones de Osborne porque no son extraíbles con ninguno de los disolventes utilizados.

Las fracciones de Osborne no proporcionan una clara separación entre las proteínas para poder diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan.

Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/ funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne. Una fracción importante de proteínas se excluye de las fracciones de Osborne porque no son extraíbles con ninguno de los disolventes utilizados.

Tabla 04. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.

Fracción Osborne	Comportamiento en Solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albuminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten, principalmente monoméricas.	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten, principalmente monoméricas.	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones en alcohol	Proteínas del gluten, principalmente gliadinas. monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular.	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas no del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Fuente: Goesaert, Bris & Veraberbeke, (2009).

Las fracciones de Osborne no proporcionan una clara separación entre las proteínas para poder diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan. Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne.

El fraccionamiento de Osborne se usa todavía extensamente en estudios que relacionan la composición de proteínas con su funcionalidad, en la elaboración de pan. Además, debido a que este método de separación es relativamente simple, a menudo es muy usado como una etapa de separación inicial para obtener fracciones semipuras de proteína (Goesaert, Bris & Veraberbeke, 2009).

2. Con base en su funcionalidad

Desde el punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan. Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15 - 20 % del total de las proteínas del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo.

Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas). No obstante, a estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas tritricinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Están relacionadas con la mayoría de las proteínas de almacenamiento de legumbres y en otros cereales, como la avena y el arroz. Estas proteínas se han encontrado en el residuo que queda después del fraccionamiento de Osborne. Su papel en la formación de pan no está muy claro (Goesaert, Bris & Veraberbeke, 2009).

Las proteínas del gluten representan entre un 80 - 85% del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry y Halford, 2002; Shewry *et al.*, 1995).

Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón.

Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas y estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles. La Tabla 5, muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

Tabla 05. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad.

Clasificación de acuerdo a su funcionalidad	Ubicación en el grano	% en la harina de trigo	Proteínas monoméricas	Proteínas poliméricas
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15 – 20 %	Albuminas Globulinas	ricinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80 – 85 %	Gliadinas	luteninas

Fuente: Goesaert, Bris & Veraberbeke, (2009).

Las gliadinas y gluteninas se encuentran normalmente en una relación 50/ 50 en el trigo. Las gliadinas representan un grupo sumamente polimórfico de proteínas monoméricas del gluten con peso moleculares que varían entre 30 000 y 80 000. Bioquímicamente se han identificado tres tipos (α , γ y ω) (Shewry *et al.*, 1986; Veraverbeke y Delcour, 2002).

Estas son fácilmente solubles en soluciones de alcohol en agua y son por lo tanto los principales componentes en la fracción de gliadinas de Osborne (Ver Tabla 5).

Por otra parte, las gluteninas son una mezcla heterogénea de polímeros con pesos moleculares que varían desde aproximadamente 80 000 hasta varios millones de kDa (Kilo Daltons).

Las gluteninas están entre las proteínas más grandes encontradas en la naturaleza (Wrigley, 1996). El verdadero tamaño de las proteínas poliméricas más grandes no ha sido determinado con precisión por su enorme tamaño. Mientras que aquellas gluteninas de tamaño relativamente pequeño, son solubles en soluciones de alcohol al igual que las gliadinas y ello ha permitido conocer su peso molecular.

Una gran parte es soluble en ácidos diluidos (ver Tabla 6). Sin embargo, una parte importante no puede ser solubilizada sin cambiar su estructura. Esta importante insolubilidad de las gluteninas explica porque a pesar de los esfuerzos significativos, de ya más de un siglo, se ha encontrado poca información sobre la estructura de las gluteninas. Las gluteninas están constituidas por sub unidades que están unidas a través de enlaces disulfuro. Estas sub unidades de gluteninas pueden liberarse reduciendo enlaces disulfuro con agentes tales como el b - mercaptoetanol o ditiotreitól.

Tabla 06. Clasificación de las proteínas del gluten, gliadinas y globulinas, con base en sus pesos moleculares.

Proteínas del gluten	Rango pesos moleculares	Subunidades de gluteninas extraíbles	Tipos
Gliadinas	30,000 – 80 000		α
			γ
			ω
<hr/>			
		Alto peso molecular	
Gluteninas	80, 000 – varios millones	Bajo peso molecular	B
			C
			D

Fuente: Goesaert, Bris & Veraberbeke, (2009).

Las subunidades de glutenina están bioquímicamente relacionadas con las gliadinas y son solubles en soluciones de alcohol en agua. Cuatro diferentes grupos de subunidades de gluteninas pueden ser distinguidos: subunidades de glutenina de alto peso molecular que van entre 65 000 y 90 000 kDa. Sub unidades de bajo peso molecular tipos B, C y D. Con pesos moleculares entre 30 000 y 60 000.

La Tabla 6, muestra la clasificación de las proteínas del gluten: gliadinas y globulinas, con base en sus pesos moleculares. Por otro lado, las proteínas del gluten también se pueden clasificar en: ricas en azufre, pobres en azufre (Shewr y et al 1985). Las α y γ gliadinas y las subunidades de glutenina de bajo peso molecular (tipos B y C) forman el primer grupo (ricas en azufre).

Según Shewry *et al.*, (1985), Shewry *et al.*, (1997) las gliadinas tipo ω y las subunidades de glutenina de bajo peso molecular tipo D forman el segundo tipo (pobres en azúfre). La Tabla 7, muestra la clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre.

Tabla 07. Clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre.

	Gliadinas	Subunidades de glutenina
Ricas en azufre	α γ	B C
Pobres en azufre	ω	D

Fuente: Goesaert, Bris & Veraberbeke, (2009).

Las proteínas que contienen cisteína con el grupo tiol disponible, representan aproximadamente sólo el 5% y son capaces de formar agregados de alto peso molecular unidos por enlaces disulfuro intermoleculares. Estas cisteínas tienen un papel clave en la funcionalidad de la masa. En tanto que aproximadamente el 95 % de

los residuos de cisteína de los componentes de la proteína del gluten se encuentran en forma de disulfuro en la harina recién preparada.

El grupo tiol puede catalizar reacciones de intercambio tioldisulfuro durante el mezclado de la masa. En la red de gluten, la elasticidad está determinada por los enlaces disulfuro intermoleculares entre las gluteninas, mientras que la viscosidad está determinada por la fracción monomérica de gliadinas, teniendo solamente enlaces disulfuro intramoleculares. El número y cantidad de subunidades de glutenina de bajo peso molecular (tipo B y C) están significativamente relacionados con la extensibilidad de la masa (Goesaert, Bris & Veraberbeke, 2009).

3. Otros Componentes

En el grano de trigo se encuentran presentes distintos tipos de lípidos, tales como ácidos grasos, glicéridos simples, galactoglicéridos, fosfoglicéridos, esteroides, esfingolípidos, dioles, tocoferoles, carotenoides e hidrocarburos. Los lípidos tipo acil son los que se encuentran en mayor proporción; entre ellos predominan los triglicéridos que contienen ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico y α -linolénico, encontrándose los monos y diglicéridos en menor proporción. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11-26% del total y los no saturados el 72-85%.

Los minerales están en muy pequeña proporción en el grano de trigo, y es aún menor su presencia en el endospermo (inferior al 1%). Los componentes mayoritarios de esta fracción son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. También se encuentran cantidades significativas de hierro, magnesio, zinc y cobre (Edel & Rosell, 2007).

Gran parte del fósforo presente en los cereales se encuentra como ácido fítico el cual se combina con el calcio y el magnesio para formar la fitina (fitatos de calcio y magnesio), que es insoluble, por lo que el fósforo presente en esta forma es mal asimilado por el cuerpo humano. Además, el ácido fítico se puede combinar con numerosos iones reduciendo su asimilación en el organismo. En los granos existen fitasas

que en condiciones adecuadas pueden hidrolizar la fitina con la consiguiente liberación de fosfatos; esto ocurre durante el proceso de fermentación de la masa panaria.

Los granos de cereales son muy ricos en vitaminas del grupo B. La más importante es la niacina o vitamina PP que se encuentra en el salvado, aunque la mayor parte como niacina inasimilable. Al niacina le siguen en importancia el ácido pantotéico o vitamina B3 que se concentra en la capa de aleurona, y en menor medida en el endospermo, la piridoxina o B6 situada fundamentalmente en la capa de aleurona, la tiamina o B1 centrada en el escutelo y la riboflavina o B2 que se distribuye mayoritariamente en el salvado y el germen. Además de las vitaminas del grupo B los granos de cereales también son ricos en vitamina E.

4. Aspectos nutricionales

El trigo ha constituido desde el principio de los tiempos la base de la alimentación de la sociedad occidental. En los países donde el consumo de pan está muy extendido, los productos obtenidos del trigo proveen aproximadamente una quinta parte del total de calorías de la dieta. Si se analiza cualquier pirámide nutricional se puede observar que la base está compuesta por productos ricos en hidratos de carbono complejos, como el almidón. Los cereales son una buena fuente de hidratos de carbono de lenta asimilación, una fuente importante, aunque incompleta, de proteínas y apenas contienen grasa. Además, los cereales aportan fibra, vitaminas y sales minerales. Sin embargo, el trigo sólo, al igual que el resto de los cereales, no es capaz de proveer todos los aminoácidos esenciales necesarios para un apropiado desarrollo, ya que es deficiente en algunos aminoácidos esenciales, como por ejemplo la lisina. Para mejorar la calidad proteica de la dieta se puede recurrir a la combinación de cereales y leguminosas, ya que ambas proteínas se complementan.

El perfil aminoacídico también puede mejorar con la ingesta de proteínas más completas, como las animales, fundamentalmente las del huevo y la leche. Ciertos componentes del trigo se concentran en el salvado y el germen, por lo que las harinas blancas contienen una proporción menor de estos componentes que las harinas integrales. Esto se verifica principalmente con las vitaminas, las sales minerales, la fibra y ciertas sustancias antioxidantes.

En algunos países es habitual enriquecer las harinas blancas con vitaminas y minerales para compensar las pérdidas sufridas al eliminar el salvado y el germen (Rosell 2003, 2004, 2007). Este enriquecimiento se produce en épocas de penuria económica y en países en vías de desarrollo, pero algunos países han conservado esta práctica tras recuperarse de las épocas problemáticas.

El enriquecimiento suele estar regulado por ley y se basa en la incorporación de vitaminas del grupo B y de hierro. No obstante, las harinas blancas no incorporan la fibra ni las sustancias antioxidantes presentes en el salvado y germen.

La formación de radicales libres y el estrés oxidativo favorece la aparición de ciertas enfermedades como algunos tipos de cáncer, enfermedades coronarias, alzheimer, artritis y, en general, de los procesos de envejecimiento. Las sustancias antioxidantes reducen la formación de radicales libre e inhibe los daños en el ADN que podrían favorecer los procesos cancerosos. El trigo también constituye una fuente excelente de compuestos antioxidantes, en muchos casos mejor que la mayoría de frutas y verduras. Entre los antioxidantes que se encuentran en el trigo destacan algunos ácidos fenólicos, como el ácido ferúlico, el ácido fítico, el selenio, los tocoferoles y tocotrienoles, y los flavonoides. Al igual que ocurre con la mayoría de las vitaminas y minerales, las sustancias antioxidantes del trigo se concentran en el salvado y el germen, por lo que su contenido se reduce en los procesos de molturación para obtener harinas blancas (Pathlrana & Shahidi, 2007).

Tabla 08. Composición proximal (%) del trigo y otros granos.

Grano	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibra cruda
Trigo	13	2	14	2	69	1
Quinua	10 - 13	3	12 - 19	5 - 10	61 - 74	2 - 3
Avena	8	2	14	8	68	1
Arroz	15	1	8	1	78	2
Maíz	15	2	13	4	66	3

Fuente: Pathlrana & Shahidi, (2007).

Tabla 09. Contenido de vitaminas en quinua y otros cereales (mg/100 g).

VITAMINAS	TRIGO	QUINUA	ARROZ
Vitamina C	0,0	16,4	3,4 - 7,2
Tiamina	0,5	0,2 - 0,4	0,2
Riboflavina	0,2	0,2 - 0,3	0,1
Niacina	5,5	0,5 - 0,7	1,9
Ácido fólico*	78,0	78,1	20,0
Caroteno*	64,0	5300	0,0

Fuente: Pathlrana & Shahidi (2007)

(*) Expresado en µg/100 g.

1.2. HARINA DE TRIGO

Por harina de trigo se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituration o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (Codex, 2007). Según la Legislación peruana, harina es el producto resultante de la molienda del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) con o sin separación parcial de la cáscara. La designación “harina” es exclusiva del producto obtenido de la molienda de trigo.

A los productos obtenidos de la molienda de otros granos (cereales y menestras), tubérculos y raíces le corresponde la denominación de “harina” seguida del nombre del vegetal de que provienen. A este tipo de harinas se les denomina sucedáneas. Es un producto altamente asimilable y con buen perfil nutritivo, conteniendo valores elevados de proteína, elaborado a base de granos seleccionados de trigo (QaliWarma, 2014).

1.2.1. Clases de Harinas

Las harinas se clasifican teniendo en cuenta la variedad de trigo con las que fueron elaboradas, es decir se clasifican de acuerdo al tipo de trigo del que se obtienen.

El trigo común o blando (*Triticum aestivum L.*), se utiliza para obtener harinas para panificación y el trigo duro (*Triticum durum L.*), que se utiliza para obtener harinas para elaborar pastas alimenticias.

1.2.1.1. Harina dura o fuerte para panificación

Son harinas con alto contenido de proteínas (10 - 17%).

1.2.1.2. Harina suave o floja para galletería y bizcochería

Estas harinas tienen un bajo contenido de proteínas (8 - 10%).

1.2.1.3. Semolina o harina para pastas

Es una harina granulosa.

1.2.1.4. Harina integral

Está compuesta por todas las partes del grano. Pueden ser duras o suaves. Tiene más fibra y algunos micronutrientes (como vitaminas del grupo B) que la harina blanca. Se encuentran en el mercado harinas enriquecidas, mezclas de harinas y harinas acondicionadas.

Tabla 10. Clases de Harina de Trigo.

TRIGO DURO	TRIGO BLANDO
El endospermo presenta mayor resistencia al aplastamiento durante la molienda.	Durante la molienda el endospermo fácilmente se aplasta.
Mayor cantidad de proteínas y almidón.	El contenido de proteínas y almidón es bajo.
La matriz de proteínas tiene mayor continuidad dentro de las células y los enlaces de los gránulos de almidón con esta matriz son más firmes.	La matriz de proteínas carece de continuidad y la estructura está más abierta. Muchos de los granos de almidón están al descubierto y algunos rotos.
Las harinas de estos granos son arenosas.	Estas harinas son blandas y pulverulentas.

Fuente: MIA, (2009).

Tabla 11. Requisitos fisicoquímicos de la Harina de Trigo en sus diferentes clases de presentación.

Requisitos	Especial		Extra		Popular		Semi Integral		Integral	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Max
Humedad %	---	15	---	15	---	15	---	15	---	15
Cenizas %	---	0,64	0,65	1,00	0,01	1,40	1,41	---	---	---
Acidez %	---	0,10	---	0,15	---	0,16	---	0,18	---	0,22

Fuente: NTP 205.027:1986, (2015).

Tabla 12. Normas de calidad para harina de trigo requeridas por la NTP.

	Máximo
Impurezas	6,0%
Granos picados	0,5%
Granos germinados	0,5%

Fuente: NTP 205.027:1986, (2015).

1.2.2. Consideraciones generales

- Deberán estar libres de toda sustancia o cuerpo extraño a su naturaleza.
- No podrá obtenerse a partir de granos fermentados o a partir de granos descompuestos como consecuencia del ataque de hongos, roedores o insectos.
- Deberá tener la consistencia de un polvo fluido en toda su masa, excepto la integral y la semi - integral, sin grumos de ninguna clase.
- No se permitirá el comercio de aquellas que tengan olor de rancio, ácido o en general olor diferente al característico de la harina.
- La venta de harina en el comercio al por menor podrá realizarse a granel bajo responsabilidad del comerciante o en sus envases originales cerrados, no debiendo estos tener manchas de aceite, kerosene o de cualquier otro producto extraño.
- Podrá adicionarse bromato de potasio o de sodio u otros productos similares aprobados para consumo humano como reguladores de la fermentación, en proporción máxima de 5 gramos/ 100 kg harina. En este caso, en la determinación analítica de las cenizas se admitirá 3% en más de la máxima indicando según el tipo.
- La harina enriquecida deberá contener los nutrientes siguientes: tiamina, riboflavina, niacina y hierro, en forma asimilable y en las proporciones que se indican a continuación.

Tabla 13. Cantidades mínimas a adicionar por kilogramo de harina de trigo, respecto a nutrientes.

Mínimo por Kg. de harina	
Tiamina	4,4 mg.
Riboflavina	2,6 mg.
Niacina	35,0 mg.
Hierro	28,0 mg.

Fuente: NTP 205.027:1986, (2015).

A los efectos de las determinaciones analíticas se admitirán las siguientes tolerancias:

Tabla 14. Tolerancias aceptables respecto a los siguientes análisis fisicoquímicos.

Cenizas	5%
Acidez	10%
Humedad	Una unidad en más de la cifra indicada como máximo.

Fuente: Qaliwarma, (2014).

- El muestreo se realizará en los molinos, en los lotes aptos para despacho, los lotes de prueba serán aquellos que forman parte del lote de producción.
- No se considerarán para el muestreo los lotes destinados a experimentación, rechazos o análisis especiales, debiendo estar estos lotes debidamente identificados.
- Para los fines de esta norma una unidad la constituye la harina contenida dentro de un envase a la agrupación de varios envases dentro de otro secundario.
- Quedará a criterio del muestreador el muestrear más de un lote de prueba si lo considera necesario o conveniente.
- Los ensayos de análisis se comenzarán dentro de las 48 horas de tomadas las muestras.
- Deberán evacuarse los resultados de los análisis máximos a los 8 días útiles de la fecha de muestreo.
- En el caso que una muestra arroje resultados no conformes con los requisitos de esta norma, realizará en la contramuestra un análisis por triplicado, en presencia del productor o su representante.
- El análisis en la contramuestra deberá iniciarse máximo a los 15 días útiles de su extracción.
- Deberá evacuarse el informe de los resultados del análisis en la contramuestra, máximo a los 21 días útiles de efectuado el muestreo.

- Los resultados de cada uno de los análisis en la contramuestra estarán dados por el promedio de las determinaciones efectuadas.

1.2.2.1. Envase y Rotulado

Envase

Se emplearán envases de primer uso y que constituyen suficiente protección para el contenido en las normales condiciones de manipuleo y transporte. El peso neto tendrá una tolerancia de:

Tabla 15. Pesos netos según la tolerancia del envase.

Envases de hasta 1 Kg. Inclusive	4%
Envases de más de 1 a 5 Kg. inclusive	3%
Envases de más de 5 a 25 Kg. Inclusive	2%
Envases de más de 25 Kg.	1%

Fuente: NTP 205.027:1986, (2015).

Rotulado

Deberá cumplir con las especificaciones de la Norma INTITEC 209.038 Norma General para el rotulado de los alimentos envasados.

1.2.3. Harina de trigo extruida

Es un producto altamente asimilable y con buen perfil nutritivo, conteniendo valores elevados de proteína, elaborado a base de granos seleccionados de trigo (QaliWarma, 2014).

Producto elaborado a base de trigo clasificado y/o seleccionado, desinfectado libres de impurezas que han sido triturados y extruidos hasta formar la harina; que puede ser fortificada y/o enriquecida con vitaminas y minerales. De sabor y aromas definidos de alta aceptabilidad para los consumidores (HACCP Molino San Miguel E.I.R.L, 2014).

1.2.3.1. Composición de la Harina de trigo extruida

Tabla 16. Composición del Producto.

Componentes	%	Gramos	Origen
Harina de trigo	100.00	100.00 gr.	Nacional

Fuente: HACCP Molino San Miguel E.I.R.L., (2014).

1.2.3.2. Descripción del Proceso para la elaboración de la Harina de Trigo extruida

a. Recepción de materia prima

La materia prima: harina de trigo, es recibida y evaluada de acuerdo al procedimiento de recepción de materia prima e insumos, observando las condiciones sanitarias del producto, del envase que lo contiene; si el lote cumple con las especificaciones técnicas es aceptado, de lo contrario es rechazado. Los criterios de calidad para la materia prima e insumos son: humedad, características organolépticas del grano y aspecto sanitario, por lo que el encargado del laboratorio deberá obtener un análisis y certificado a fin de verificar la calidad sanitaria del lote (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

b. Extrusión

La extrusión es un proceso de tratamiento térmico, que reduce la humedad y la carga microbiana, además posibilita acción sobre los almidones propiciando cambios físicos y químicos, haciéndolos más digeribles (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

Este proceso está bajo control y se llevan los registros de temperatura y presión, de evaluación sensorial del producto extruído, así como otros parámetros de operación de los equipos. Todos los registros mencionados y aquellos propios del Plan HACCP están a disposición de la autoridad responsable de la vigilancia sanitaria (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

La empresa realiza pruebas de laboratorio sobre gelatinización que permita establecer el grado de cocción de tal modo que se evite el consumo de producto crudo. El área de extrusión es un área operacional limpia, por lo cual está aislada para evitar al máximo la contaminación externa, contar con ventilación forzada y sistema de extracción de vapor para evitar la acumulación de calor y la condensación de humedad.

Los equipos de extrusión laboran de manera hermética, impidiendo fugas o salidas de producto extruído al medio ambiente.

En esta área se cuenta con un gabinete de higienización de manos y al ingreso un sistema de desinfección de calzado (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

Funciones de un extrusor:

Las condiciones generadas por el extrusor permiten la realización de muchas funciones, algunas de estas funciones son las siguientes (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014):

- Aglomeración: con un extrusor los ingredientes se pueden compactar en trozos distintos.
- Desgasificado: mediante un proceso de extrusión los ingredientes que contienen bolsas de gas se pueden desgasificar.
- Deshidratación: durante un proceso normal de extrusión, puede tener lugar una pérdida de humedad.
- Expansión: la densidad del producto (es decir, flotación y hundimiento) se puede controlar mediante las condiciones y la configuración de operación del extrusor.
- Trituración: durante el proceso en el cilindro del extrusor los ingredientes se pueden triturar.
- Homogeneización: un extrusor puede homogeneizar mediante la reestructuración de ingredientes poco atractivos en formas más atractivas.
- Mezclado: en el cilindro del extrusor está disponible una diversidad de tornillos que pueden provocar la cantidad de acción de mezclado deseada.
- Pasteurización y Esterilización: La utilización de la tecnología de extrusión en diferentes aplicaciones puede pasteurizar o esterilizar los ingredientes.
- Desnaturalización de proteínas: las proteínas animales y vegetales se pueden desnaturalizar mediante la cocción por extrusión.

- Alteración de la textura: en el sistema de extrusión se puede alterar las texturas química y física.
- Cocción térmica: en el extrusor se puede conseguir el efecto de cocción deseado.
- Unificación: las líneas de los diferentes ingredientes se pueden combinar dentro de un producto para producir características especiales mediante la utilización de un extrusor.

c. Enfriado

Esta etapa sirve evitar la contaminación del producto cocido y permitir su transporte directo a la etapa siguiente. Permite la disminución de la temperatura y humedad del producto extruído, hasta alcanzar los niveles que aseguren la conservación y calidad del producto (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

d. Molienda

Esta fase consiste en reducir el tamaño de los granos a efectos de mejorar las características del mezclado de las materias primas. Para este propósito se solicita el producto al almacén de crudos verificando la conformidad del lote y el rotulado, procediendo a vaciar en la tolva del molino y cuyo flujo de masa es regulado teniendo en cuenta la capacidad que puede soportar el motor del molino de martillos. El producto molido es recuperado por dos ciclones, uno de ellos transporta el producto a la tamizadora para luego ser trasladada hasta el equipo mezclador (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

e. Envasado y Sellado

El producto mezclado cae por gravedad hacia las bolsas de polietileno de baja densidad de color blanco opaco con pesos que van desde los 90 gr., hasta 50 Kg.; en cada unidad envasada debe figurar la fecha de producción y vencimiento, el código del lote, el peso del producto envasado, entre otros datos. La Jefa de Control de Producción y Aseguramiento de la Calidad es la responsable de verificar los pesos en

forma continua, asimismo revisará el sellado y separa las bolsas defectuosas, este tipo de envase deberá cumplir con lo establecido en los artículos 118° y 119° del D.S. N° 007-98-SA “Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas” y artículo 34° de la R.M. N° 451-2006/MINSA “Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación”.

La presentación de los envases se dará de la siguiente manera: 0.25 kg, 0.5 kg, 0.75 kg, 1.0 kg, 2.0 kg, 5.0 kg, 10.0 kg, 20.0 kg (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

Los envases del producto deberán llevar rotulado, en forma destacada el nombre del producto y las siguientes indicaciones en caracteres legibles, según lo señalado en el artículo 117° del D.S. N° 007-98-SA “Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas”, artículo 14° de la R.M. N° 451-2006/MINSA “Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y Otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación”, los mismos que deberán concordar con la NMP 001:1995 “Productos envasados: Rotulado”, y NTP 209.038 “Alimentos envasados. Etiquetado” y CODEX STAN 1-1985 “Norma General para el Etiquetado de Alimentos Preenvasado” - Adoptada 1985 (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

En el registro respectivo se anota cada ½ hora la temperatura del equipo sellador. Para el caso de unidades de 90gr y 1Kg., el producto será empacado en bolsas de polietileno o sacos gruesos de polipropileno grueso, el cual puede ser de 25, 40 ó 50 unidades por saco. La verificación respectiva se realiza antes del sellado o cocido de los sacos previo pesado (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

Las unidades de 10 Kg., de peso o más no son empacadas, se almacenan tal como están en bolsas individuales, cuidando de no hacer camas o rumas con más de 15 bolsas de altura (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

f. Pesado

Para el pesado se utiliza balanzas de plataforma digitales debidamente calibradas. Las bolsas de haría de trigo pesadas son trasladadas en un equipo rodante (coches) hasta el equipo laminador (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

En esta etapa el producto se encuentra ya casi listo para salir por lo que este es registrado en el Kardex para guardar un historial de producción. En esta etapa se verifica que el peso sea lo más exacto posible (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

g. Almacenamiento

El almacén del producto terminado es de uso exclusivo para tal fin, está ubicado en un espacio independiente de cualquier otro ambiente. Es ventilado, exento de humedad y tiene adecuada iluminación. En cuanto a características de estiba y rotación se cumple con los requisitos dispuestos en el artículo 22° de la R.M. N° 451-2006/MINSA. Este tiempo de almacenamiento estará definido en el Plan HACCP para cada producto y será verificado por la autoridad sanitaria y nutricional (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

El producto final es almacenado sobre parihuelas o tarimas de madera limpias y en buen estado, y a una altura de 0.20 cm., sobre el piso, a una distancia de 0,50 cm., entre ruma y pared y 0.60 cm., entre rumas. El almacenamiento se realiza en un ambiente fresco, seco, protegido contra plagas y limpio hasta que sea despachado para su distribución. En el almacén se monitorea la temperatura ambiental y la humedad relativa. Los productos almacenados permanecen por un tiempo no mayor a doce horas hasta el transporte y distribución (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

h. Transporte y Distribución

Los alimentos se transportan en vehículos de usos exclusivos y debidamente acondicionados para tal fin. El producto final se dispondrá en el interior del vehículo evitando el contacto directo con el piso, paredes y techo, teniendo cuidado de evitar su rotura y vaciado del contenido durante el transporte. Los vehículos de transportes son limpiados y desinfectados antes y después de cada uso, eliminando olores y elementos indeseables (Molinos San Miguel E.I.R.L., 2014).

1.2.3.3. Límites de aceptabilidad para Harina de trigo extruida

a. Requerimientos Microbiológicos

Tabla 17. Límites Microbiológicos de la Harina de Trigo Extruida.

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
Aerobios mesófilos	3	3	5	1	10 ⁴	10 ⁵
Coliformes	5	3	5	2	10	10 ²
<i>Bacillus cereus</i>	8	3	5	1	10 ²	10 ⁴
Levaduras	5	3	5	2	10 ²	10 ³
Mohos	5	3	5	2	10 ²	10 ³
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia/2 5g	-

Fuente: R.M. N° 451-2006/MINSA “Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y Otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación.

b. Requisitos Físico-químicos

Humedad: Menor o igual a 8.0%

Acidez (expresada en ácido sulfúrico): Menor o igual a 0.4%

Índice de peróxido: Menor a 10 mEq/kg de grasa

c. Requisitos Organolépticos

Olor: Característico

Sabor: Característico

1.3. FORMAS DE DETERIORO DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUIDA

1.3.1. Enranciamiento oxidativo o autooxidación

La percepción sensorial de la rancidez se debe a la presencia de sustancias volátiles que poseen 3 – 12 átomos de carbono; diversas clases de compuestos pueden producir rancidez, como aldehídos, cetonas, alcoholes e inclusive hidrocarburos. Generalmente los derivados insaturados son más activos que los correspondientes saturados.

Tabla 18. Oxidantes en los alimentos.

Oxidante	Importancia	Presencia
Aire, oxígeno (triplete) (autooxidación)	El más importante en los procesados y almacenados	General
Oxidación catalizada enzimáticamente	Materias primas almacenadas	Semillas oleaginosas, frutos secos, cereales, legumbres Aceites comestibles, alimentos verdes
Oxígeno singulete	Con la luz en presencia de fotosensibilizadores	
Ozono	Muy bajo en los alimentos	Aceites esenciales Frutas, hortalizas, patatas
Quinonas	En los alimentos sometidos a pardeamiento enzimático	
Metales	Iniciación de la oxidación por radicales libres	Carnes, frutas
Anión superóxido	Principalmente en los sistemas vivos	Carnes
	En presencia de ácido ascórbico	Frutas, hortalizas
Peróxido de hidrógeno	En presencia de ácidos poliinsaturados y carotenoides	Frutas, hortalizas, alimentos grasos
Hidroperóxidos lipídicos		

Fuente: Shafiur, (2007).

Los lípidos se oxidan lentamente. Los ácidos grasos poliinsaturados son los componentes menos estables, siendo atacados fácilmente por el oxígeno del aire. Los ácidos grasos saturados también se oxidan a altas temperaturas (Shafiur, 2007).

El tipo predominante de enranciamiento es el enranciamiento oxidativo. En este proceso, los ácidos grasos insaturados están sujetos a enranciamiento oxidativo o autooxidación, y a cuantos más dobles enlaces hay, mayor es la posibilidad de adición de oxígeno en los dobles enlaces, aumentando el riesgo de que la grasa o el aceite se enrancien.

La autooxidación es compleja y se potencia por calor, luz, ciertos metales (hierro y cobre) y enzimas conocidas como lipoxigenasas. La reacción se puede dividir en tres etapas: iniciación, propagación y terminación (Montilla & Sanz, 2016). Etapa de iniciación de la reacción consiste en la formación de un radical libre. Se desplaza un hidrogeno sobre un átomo de carbono adyacente a otro que tiene un doble enlace para dar un radical libre, como se muestra en la Figura 05.

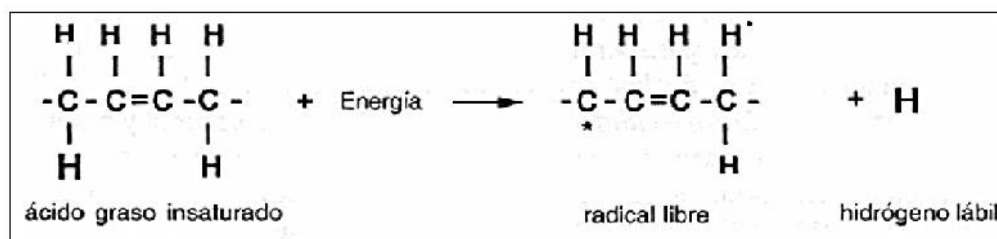


Figura 05. Etapa de iniciación de la autooxidación.

Fuente: Montilla & Sanz, (2016).

Hay actividad química alrededor y en los dobles enlaces. Como se ha mencionado previamente, esta reacción se cataliza por calor, luz, ciertos metales como cobre y hierro, lipoxigenasas. Los radicales libres que se forman son inestables y muy reactivos. La etapa de propagación sigue a la etapa de iniciación y consiste en la oxidación de los radicales para dar un peróxido activado (Montilla & Sanz, 2016).

Estos, a su vez, desplazan un hidrogeno de otro ácido graso insaturado, formando otro radical libre. El hidrogeno liberado se une con el peróxido para formar un hidroperóxido, y el radical libre se puede oxidar como se acaba de describir. Así, la reacción se repite, o propaga, a sí misma. La formación de un radical libre, por tanto, lleva a la oxidación de muchos ácidos grasos insaturados (Montilla & Sanz, 2016). Los hidroperóxidos son muy inestables y se descomponen en compuestos con cadenas de menor número de átomos de carbono, como ácidos grasos, aldehídos y cetonas volátiles.

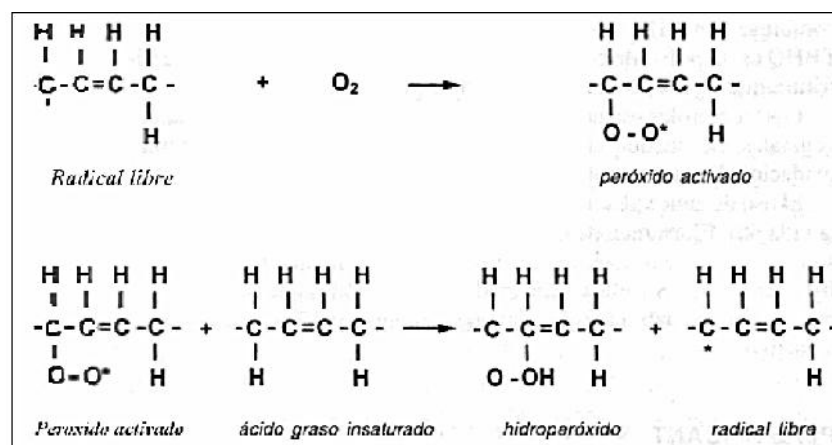


Figura 06. Etapas de reacción de la propagación de la autooxidación.

Fuente: Montilla & Sanz, (2016).

Son responsables del olor característico de las grasas y aceites rancios. Las dos reacciones de la etapa de propagación de la autooxidación se muestran en la Figura 06 (Peña, 2006). La etapa de terminación de la reacción consiste en la reacción de los radicales libres para formar productos estables que no son radicales. La eliminación de todos los radicales libres es la única manera de detener la reacción de oxidación (Peña, 2006).

1.3.2. Ganancia de humedad

El agua es de gran importancia en la conservación de los alimentos. Así mismo su control en el proceso de elaboración es básico como técnica de preservación. En los últimos 30 años los principios biológicos que rigen los mecanismos de las interacciones fisicoquímicas del agua han sido investigados sistemáticamente (Ginferrer, 2012).

Según Lobo, 2015, la propiedad fisicoquímica más importante en los sistemas de alimentación es la actividad de agua A_w , definida desde el estado de equilibrio termodinámico.

En condiciones normales de presión, la A_w es prácticamente igual a la relación de la presión de vapor de agua del alimento, la presión (p) en el equilibrio está dividida por el vapor presión del agua pura (p_0), a la misma temperatura y se relaciona con la humedad relativa de equilibrio (% ERH):

$$Aw = \frac{P}{P_0} = \frac{\% ERH}{100}$$

Ec. 1

Donde:

- ✓ P= Presión de vapor de agua en el alimento.
- ✓ P₀= Presión de vapor de agua pura a la misma T⁰ del alimento.
- ✓ ERH= Es el porcentaje de la humedad relativa en equilibrio.

A una temperatura constante existe una relación única entre el contenido de humedad y la Aw de un alimento específico, dependiendo de su retención de líquidos en la preparación (es decir, la adsorción frente desorción). Esta relación se representa por la isoterma de sorción de humedad de la comida. En la Figura 7 se muestra un típico caso de isoterma de humedad en los alimentos. Existe además una gama de Aw para diferentes tipos de alimentos que también presentan una variedad en sus humedades.

Un cálculo integral de sorción de humedad viene explicado por Labuza (1982), estableciendo una relación entre el Contenido de humedad y la estabilidad de los alimentos (Lobo, 2015).

La actividad de agua describe el grado de permeabilidad del agua contenida en los alimentos y su disponibilidad para actuar como un disolvente y participar en reacciones químicas o bioquímicas. Los niveles críticos de Aw pueden ser reconocidos por encima del deterioro indeseable de los alimentos donde se produce un punto de seguridad o calidad dependiendo del criterio del analista. Desde el punto de vista de seguridad y calidad, este rubro se centra en control de poblaciones microbianas en probables colonizaciones. La capacidad de un microorganismo para crecer en un ambiente dado, depende básicamente de las complejas interacciones de un número de factores, entre ellos esta: la actividad de agua, la temperatura, pH, potencial de oxidación - reducción, conservantes y microflora competitiva.

Para los valores de ajuste de los otros factores, una Aw mínima es suficiente para determinar el crecimiento de una especie microbiana dada. La bacteria patógena más tolerante es *Staphylococcus aureus*, que puede crecer hasta una Aw de 0,84 a 0,85.

Esto es a menudo utilizado como el nivel crítico de contaminación en los alimentos. Este límite es pertinente en alimentos de humedad intermedia que se fabrican en ese rango de A_w . Los mohos y levaduras xerofílicas y osmofílicas pueden crecer hasta 0,6 a 0,7 de A_w y puede tener importancia en los alimentos en base seca, da valores mínimos de A_w , para un número de microorganismos comúnmente encontrados de importancia para la salud pública (Lobo, 2015).

Richard (1985), examinó el efecto de la A_w en mohos la producción de micotoxinas, y Tilbury (1976) presentó un tratamiento integral de las levaduras tolerantes a la A_w . La FDA propuso que para unas buenas prácticas de fabricación se debe definir primero el "nivel de humedad seguro" como nivel de humedad suficientemente bajo, para evitar el crecimiento de microorganismos indeseables en el producto acabado, y en las condiciones previstas de fabricación, almacenamiento y distribución. El máximo nivel de humedad seguro se basa en la A_w de los alimentos.

Una A_w se considera segura si se dispone de datos suficientes que demuestren que la comida contenga bajos niveles de A_w dado que no apoyará el crecimiento de microorganismos indeseables. La FDA también exige que la humedad intermedia y seca en los alimentos que dependen de A_w para prevenir el crecimiento de indeseable microorganismos (Lobo, 2015).

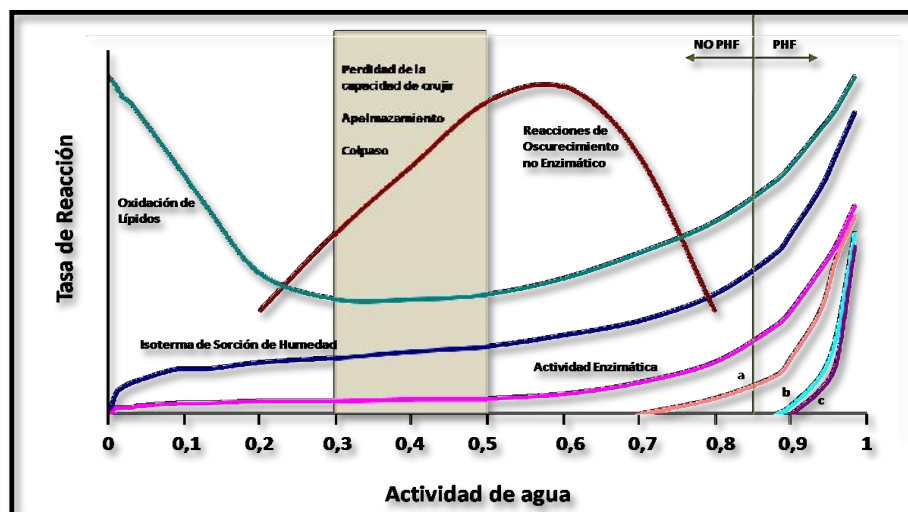


Figura 07. Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la A_w .

Fuente: Lobo, (2015).

La calidad de la textura también se ve muy afectada por la humedad y la A_w , ahí tenemos a los alimentos crujientes secos como las papas fritas, palomitas de maíz, galletas y hojuelas de maíz que sin un control pierden con el tiempo nitidez y textura y pueden convertirse texturalmente en alimentos inaceptables por conseguir una humedad por lo general en el rango de entre 0,35 y 0,5. Los Alimentos de humedad intermedia como frutas secas, alimentos para mascotas, productos de panadería y algunos artículos de confitería pueden llegar a perder su textura porque la humedad por debajo de la gama de 0,5 a 0,7 en la A_w , los convertirá en alimentos duros (Lobo, 2015).

1.4. VIDA ÚTIL DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUIDA

1.4.1. Vida Útil

La vida útil de un alimento representa aquel período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, manteniendo las características sensoriales, funcionales y nutricionales por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables (Quiñones, 2015).

El tiempo de vida útil depende de 4 factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento.

La formulación involucra la selección de las materias primas más apropiadas e ingredientes funcionales que permiten incrementar la aceptación y lograr la seguridad e integridad del producto (Serato, 2013).

El procesamiento somete las materias e ingredientes formulados a condiciones que son desfavorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos favorables que dan al alimento su forma y características finales. Una vez que el alimento abandona la etapa de procesamiento sigue manteniendo sus características y el periodo en que el alimento retiene dichos atributos está en función del microambiente del empaque. Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno, etc.), humedad relativa, presión o estrés mecánico, luz y temperatura. Estos parámetros son dependientes tanto del empaque como de las condiciones de almacenamiento (Serato, 2013).

La vida del producto debe exceder el tiempo mínimo de distribución requerido, hasta que llegue al consumidor y que este, como usuario final, someta a un periodo razonable de almacenamiento al producto. En general, el final de la vida en anaquel del producto alimenticio se define como el tiempo en el cual las muestras almacenadas son percibidas como diferentes en alguna medida (De la Cruz, 2009).

1.4.2. Factores que afectan la calidad del tiempo de vida útil

La vida en anaquel de un producto está determinada por los componentes del sistema, el proceso de elaboración, el método de empaque, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y almacenamiento. En forma general, estos factores pueden ser caracterizados en factores intrínsecos y extrínsecos (De la Cruz, 2009).

Estos factores operan comúnmente en forma conjunta e impredecible, por lo que debe investigarse la posibilidad de interacción entre ellos. Un tipo de interacción particular muy útil ocurre cuando los factores como, reducción de la temperatura, tratamiento térmico, acción antioxidante y empaque en atmósfera controlada, operan con la finalidad de inhibir el crecimiento microbiano, en el llamado “efecto de barrera”.

Esta forma de interacción de los factores, los cuales, de forma individual, no podrían prevenir el crecimiento microbiano, en combinación, permiten a los productores usar técnicas de procesamiento más moderadas de tal manera que permitan una mayor retención de las propiedades sensoriales y nutricionales. La interacción de los factores intrínsecos y extrínsecos puede inhibir o estimular procesos que ponen fin a la vida en anaquel (De la Cruz, 2009).

1.4.3. Cinética de Peróxido

La oxidación de las grasas conlleva a la generación de malos sabores y olores, pero esto no solo abarca en el problema de la calidad sino en la presentación final del producto, por otro lado, la vida útil de alimentos perecibles con un promedio de 3 semanas de producción, presenta en su composición grasas con características organolépticas de tipo frescas las cuales se han almacenado correctamente.

Sin embargo, el aumento en el uso de mantequilla y el aceite en los últimos años se ha traducido en una mayor incidencia del hidrólisis rancidez (Badui, 2006).

Por otra parte, algunos productos de fabricación artesanal tipo postres, se venden ahora con estanterías vida de 3 a 6 meses, lo que tiende a aumentar el potencial de la rancidez oxidativa.

1.4.4. Vida Útil de Alimentos Empacados

Las propiedades del empaque que pueden tener un efecto significativo en muchos de los factores extrínsecos y por tanto indirectamente en las velocidades de las reacciones de deterioro. Por lo tanto, la vida útil de un alimento puede ser alterado cambiando: la composición, formulación, los parámetros de procesamiento, los sistemas de envasado, o el medio ambiente a los que está expuesto (Vidaurre J., 2015).

El deterioro en la calidad de los alimentos envasados está a menudo estrechamente relacionado con la transferencia de calor y masa a través del empaque.

Los alimentos envasados no sólo pueden perder o ganar la humedad, sino que también reflejar la temperatura de su entorno, ya que muy pocos empaques de alimentos son buenos aislantes. Por lo tanto, las condiciones climáticas (temperatura y humedad) del almacenamiento y distribución juegan un papel importante en la velocidad de deterioro de los alimentos envasados (Vidaurre J., 2015).

1.4.4.1. Rol del envase en la ampliación del tiempo de vida útil de los alimentos

Una de las funciones del empaque es de proteger su contenido contra los efectos ambientales externos, ya sean: agua, vapor de agua, gases, olores, microorganismos, polvo, golpes, vibraciones, las fuerzas de compresión, etc. Para muchos productos alimenticios la protección que ofrece el empaque es una parte esencial del proceso de preservación.

En general, una vez que se rompe la integridad del empaque, las reacciones de deterioro se ven aceleradas, a esto se le conoce como tiempo de vida secundario y existen muy pocos estudios sobre este tema (Villarroel, 2013).

El conocimiento de los tipos de reacciones de deterioro que influyen en la calidad de los alimentos es el primer paso en el desarrollo de envases de alimentos con el fin de reducir al mínimo los cambios indeseables en la calidad del alimento y así maximizar el desarrollo y mantenimiento de propiedades deseables (Villarroel, 2013).

El deterioro de los alimentos envasados depende en gran medida de las transferencias que pueden ocurrir entre el entorno exterior y el ambiente interno del empaque; por ejemplo, puede existir transferencia de humedad, del medio ambiente, hacia un producto seco, o la transferencia de un olor indeseable hacia el interior de un producto con alto contenido en grasas, o el desarrollo de la rancidez oxidativa si el empaque no es una barrera eficaz del oxígeno; también pueden existir problemas de migración de compuestos químicos propios del empaque, hacia el alimento. Además de la capacidad de los materiales de empaque para proteger y conservar los alimentos, reduciendo al mínimo o previniendo estas transferencias, los materiales de empaque también deben proteger el producto contra daños mecánicos y prevenir o minimizar el mal uso por los consumidores (incluida la manipulación) (Villarroel, 2013).

Aunque ciertos tipos de deterioro se producen, incluso si no hay transferencia de masa (o de calor, ya que algunos materiales de envasado pueden actuar como aislantes eficientes contra las fluctuaciones de la temperatura ambiente) entre el empaque y su entorno, es posible, en muchos casos, prolongar la vida útil de los alimentos a través del uso de los envases (Villarroel, 2013).

Muchas de las reacciones químicas que se producen en los alimentos puede conducir a un deterioro en la calidad de los alimentos (tanto nutricional y sensorial) o el deterioro a nivel de inocuidad. Los tipos de estas reacciones químicas dependen de una variedad de factores susceptibles de control por el empaque, incluyendo la luz, la concentración de O_2 , temperatura y A_w .

Por lo tanto, el empaque puede, en ciertas circunstancias, desempeñar un papel importante en el control de estos factores, y en la tasa de las reacciones químicas de deterioro.

En el diseño de un empaque adecuado para los alimentos, es importante definir primero los índices críticos (IC), es decir, los atributos de calidad que indican que la comida ya no es aceptable para el consumidor (Villarreal, 2013). Un IC podría ser el desarrollo de sabores rancios en los cereales debido a la oxidación, o la reducción de carbonatación en bebidas no alcohólicas embotelladas debido a la permeación del CO_2 a través de la pared de la botella, o el apelmazamiento de café instantáneo debido a la ganancia de humedad o la pérdida de humedad en los vegetales verdes como resultado de marchitamiento.

Una vez que los IC para un alimento en particular se han definido, el siguiente paso es intentar cuantificar la magnitud de la degradación en particular. El paso final es determinar si los IC podrían estar influenciados por el material de empaque, ejemplo, el IC de un snack es la pérdida de crocantes, entonces el material de empaque podría influir en la ganancia de humedad ya que existen diferentes películas de plástico que tienen diferentes velocidades de transmisión de vapor de agua (WVTR), y por lo tanto el tiempo de vida en anaquel del snack puede variar dependiendo del material de empaque seleccionado.

Caso similar se puede presentar, para aquellos alimentos, cuyo IC es la oxidación, por lo tanto, el empaque influye en el tiempo de vida en anaquel, debido a las diferentes velocidades de transmisión de O_2 (OTR) que tienen los empaques. Pero, por ejemplo, si el IC de un alimento es el pardeamiento no enzimático, entonces es poco probable que los diferentes materiales de empaque influyan en el tiempo de vida de ese producto (Villarreal, 2013).

1.4.4.2. Permeabilidad al vapor de agua y tiempo de vida útil

El principio básico, de empaquetar un alimento, es mantener el estado original después de su envasado mediante la prevención de la ganancia o la pérdida de humedad. Un contenido de humedad crítico de un material alimenticio se utiliza generalmente para determinar la ganancia máxima permisible de humedad o la pérdida del contenido de humedad inicial del alimento.

Este contenido de humedad crítico se determina a partir de la isoterma de sorción y el mapa de la estabilidad. Resultando estos diagramas, muy útiles en la evaluación del tiempo de vida en anaquel y la selección del envasado eficaz (Salas, 2006).

La expresión para la permeación en estado estacionario de un gas o vapor a través de un material termoplástico se puede escribir como:

$$\frac{\delta W}{\delta t} = \frac{P}{X} \cdot A \cdot (p_{out} - p_{in}) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- ✓ P/X = Permeancia (la constante de permeabilidad P dividido entre el espesor de la película X).
- ✓ A = Área de la superficie del empaque.
- ✓ P_{out} y P_{in} = Presiones parciales de vapor del agua fuera y dentro del paquete.
- ✓ $\delta W/\delta t$ = Razón de cambio del transporte de vapor a través de la película.

Esta ecuación sería cierta siempre y cuando asumamos que la transferencia de masa, sigue un proceso estacionario y por lo tanto la pérdida de peso sigue la función lineal como se muestra en la Figura 8.

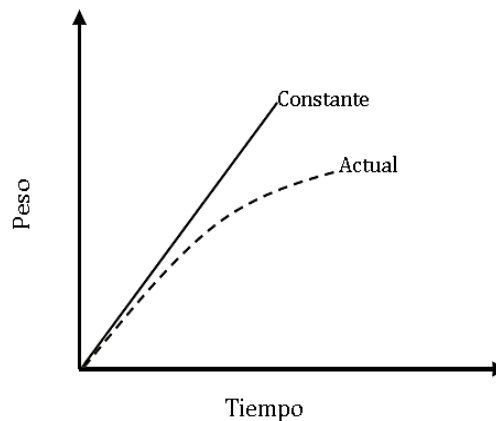


Figura 08. Ganancia de humedad de un sistema en estado estacionario (constante) versus condiciones no estacionarias (Actual).

Fuente: Vidaurre R., (2013).

Para poder modelar la ganancia o pérdida de humedad en condiciones no estacionarias se deben considerar varios supuestos. En primer lugar, se debe suponer que el alimento dentro del empaque sigue una isoterma de sorción de humedad lineal con pendiente b (véase la Figura 08).

$$m = b \cdot A_w + I \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- ✓ m = Contenido de humedad en base seca (g de H₂O/g sólidos).
- ✓ b = Pendiente resultante del contenido de humedad.
- ✓ A_w = Actividad de agua
- ✓ I = Intercepto cuando la $A_w = 0$.

En segundo lugar, se asume que la película del empaque es el principal obstáculo para la transferencia de humedad, lo que requiere la suposición de que en el interior del empaque se alcanza el equilibrio de humedad instantáneamente (Vidaurre R., 2013).

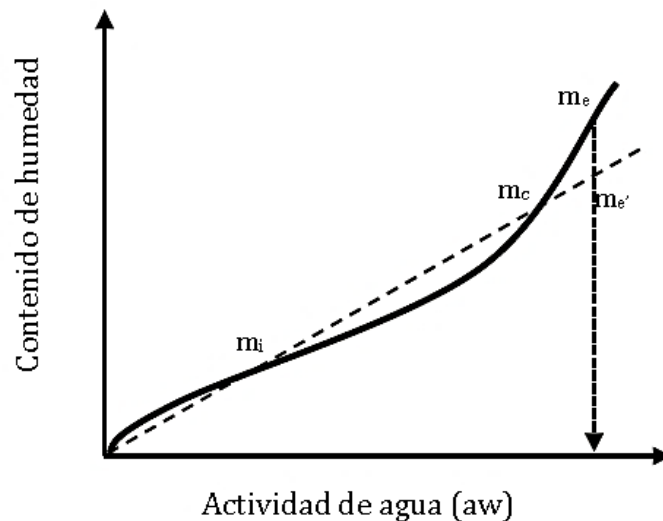


Figura 09. Típica isoterma de sorción y la asunción de la linealidad, donde: m_i : humedad inicial, m_c : humedad crítica y m_e' : humedad de equilibrio.

Fuente: Vidaurre R., (2013).

Según Salas (2006) el contenido de humedad puede ser sustituido por la ganancia de agua utilizando la relación:

$$m = \frac{W \text{ (peso del agua transportada)}}{W_s \text{ (peso atrapado)}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\therefore W = m \cdot W_s$$

$$\delta W = \delta m \cdot W_s$$

Donde:

- ✓ m = humedad
- ✓ W = peso del agua transportada
- ✓ W_s = peso atrapado
- ✓ δW = transporte de vapor

Sustituyendo en la ecuación 2, tenemos:

$$\frac{\delta m \cdot W_s}{\delta t} = \frac{P}{X} \cdot A \cdot (p_{out} - p_{in}) \quad \text{Ec. 5}$$

Las presiones parciales tanto dentro del empaque, como fuera del empaque se pueden correlacionar con el contenido de humedad del alimento de la siguiente manera:

$$m_e = b \cdot a_{we} + I = b \cdot \frac{p_{out}}{p_0} + I \quad \text{Ec. 6}$$

$$m = a_{win} + I = b \cdot \frac{p_{in}}{p_0} + I \quad \text{Ec. 7}$$

Sustituyendo en la ecuación 5 tenemos:

$$\frac{\delta m}{\delta t} = \frac{P}{X} \cdot \frac{A}{W_s} \cdot \left[\frac{p_0}{b} \cdot (m_e - m) \right] \quad \text{Ec. 8}$$

Reorganizando e integrando tenemos:

$$\int_{m_i}^m \frac{\delta m}{m_e - m} = \int_0^t \frac{P}{X} \cdot \frac{A}{W_s} \cdot \frac{p_0}{b} \delta t \quad \text{Ec. 9}$$

$$\ln \left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m} \right] = \frac{P}{X} \cdot \frac{A}{W_s} \cdot \frac{p_0}{b} t \quad \text{Ec. 10}$$

Por lo tanto, para determinar el tiempo que demora un alimento en ganar humedad hasta llegar a su humedad crítica, considerando su isoterma como una función lineal, se tiene la siguiente ecuación: Salas (2006)

$$t = \frac{\ln \left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c} \right]}{\frac{p}{X} \cdot \frac{A}{W_s} \cdot \frac{p_0}{b}} \quad \text{Ec. 11}$$

Obviamente, la isoterma se debe determinar a la misma temperatura de almacenamiento. Las mismas suposiciones se mantendrán para la predicción de la pérdida de humedad dentro de un paquete (Salas, 2006). La ecuación para la pérdida de humedad es similar a la ecuación 10 y se representa de la siguiente manera:

$$\ln \left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c} \right] = \frac{p}{X} \cdot \frac{A}{W_s} \cdot \frac{p_0}{b} t \quad \text{Ec. 12}$$

Por cuestiones de análisis, es normal realizar los experimentos y predicciones a la temperatura de 38°C y 90 %HR para el peor de los casos; pero si los alimentos son vendidos en climas templado es normal utilizar la temperatura de 25 °C y 75 %HR.

Existen trabajos que no consideran la linealidad de la isoterma de sorción, por lo tanto, utilizan modelos complejos como el de GAB o BET, con el único inconveniente que la solución, para estos casos, es numérica.

Como se sabe el aumento de la humedad casi siempre tiene tendencia a ser curva como se observa en la Figura 9 se optó por comparar GAB con tendencia lineal.

Considerando la ecuación 1 se sabe que la presión de vapor interna no es constante, sino que varía con el contenido de humedad de los alimentos en cualquier momento. En consecuencia, la tasa de ganancia o pérdida de humedad no es constante, sino que disminuye a medida que se hace más pequeño p . Así que ser capaz de hacer predicciones exactas, alguna función de p_2 , la presión de vapor interna, en función del contenido de humedad, se debe insertar en la ecuación. Suponiendo una temperatura constante de resultados de la velocidad en el producto que se está sobreprotegiendo (Robertson, 2009).

Según Vidaurre R. (2013) quien introdujo GAB en la ecuación de permeancia, sabiendo que la expresión para la permeación en estado estacionario de un gas o vapor a través de un material termoplástico se puede expresar como se indica en la ecuación 2.

Como se mencionó de la ecuación de isoterma de GAB se puede reorganizar para incorporarla en la ecuación 13, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{P}{L} \cdot A \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$$B_1 = k_{GAB}^2 (1 - C_{GAB}) \quad \text{Ec.14}$$

$$B_2(M_e) = k_{GAB} (C_{GAB} - C_{GAB} \frac{M_{o,GAB}}{M_e} - 2) \quad \text{Ec. 15}$$

$$B_2(M_e) = k_{GAB} (C_{GAB} - C_{GAB} \frac{M_{o,GAB}}{M} - 2) \quad \text{Ec. 16}$$

Ecuación de GAB:

$$X_w = \frac{X_M \cdot C \cdot k \cdot A_w}{(1 - k \cdot A_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot k \cdot A_w)} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

- ✓ X_m = Es la humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.
- ✓ C = Es la constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.
- ✓ K = es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.
- ✓ A_w = Actividad de agua

Permeabilidad

La principal característica que se considera en los empaques es la permeabilidad. La permeabilidad es un fenómeno de transferencia de un gas o vapor a través de una película, este concepto ésta normalmente asociado con la evaluación cuantitativa de las propiedades de barrera de un material. Un buen material de barrera presenta bajos valores de permeabilidad.

El fenómeno de permeabilidad tiene lugar cuando la pared de un material permeable, separa dos fases las cuales contienen especies de bajo peso molecular que tienen diferentes valores de actividad en cada una de las fases.

1.5. ESTUDIO ACELERADO DE VIDA DE ANAQUEL

En la experimentación con alimentos, diversos estudios de estabilidad se realizan de manera rutinaria, algunos se centran en la velocidad de deterioro de la calidad, y otros en el período de tiempo requerido para que el producto sea inadecuado para el consumo humano. Deben considerarse determinados criterios de deterioro, dependiendo del tipo de alimento que se va a estudiar. Los métodos acelerados de estimación de la vida de anaquel de alimentos se basan en la aplicación de los principios de la cinética química sobre el efecto que las condiciones ambientales como temperatura, presión, humedad, gases de la atmósfera y luz, tienen sobre la velocidad de la reacción (Díaz, 2016).

Un criterio es el incremento o disminución del número de unidades (X) en el promedio de calificación de un panel sensorial. Otro indicador de una muestra deteriorada es la presencia de levaduras, mohos, o un alto recuento de bacterias que hagan inaceptables las muestras para pruebas sensoriales de sabor. Finalmente, cualquier cambio organoléptico, como el color y olor, que hacen a la muestra inaceptable para el panel sensorial y el consumidor son considerados como criterios de producto deteriorado. Es uno o la combinación de estos criterios los que constituyen una muestra deteriorada (De la Cruz, 2009).

Otra metodología empleada para determinar el tiempo de vida útil utiliza los resultados de controles simultáneos de calidad física, química, microbiológica y sensorial practicados a productos almacenados en las condiciones de comercialización. Se deben establecer previamente los límites de cada una de las variables que se estudiarán, y cuáles de ellos son críticos. Así, por ejemplo, para los controles microbiológicos se emplean los límites reglamentarios vigentes; para calidad sensorial y sus diferentes parámetros, determinados con un panel entrenado, se ha fijado un límite, que en el caso de la escala de Karlsruhe corresponde a 5,5 y que representa el límite de comercialización.

Para cada variable estudiada se establece la ecuación que represente la cinética de deterioro en el tiempo. Las ventajas de este método son: posibilidad de correlacionar las variables estudiadas y definir posibles causas del deterioro y estimar por cálculo el tiempo que tarda la calidad en llegar al límite, sin necesidad de realizar controles hasta alcanzar ese tiempo, el que puede ser verificado, posteriormente, repitiendo el estudio hasta sobrepasar ese tiempo. Su desventaja es que no considera la opinión del consumidor y es muy probable que la vida útil así obtenida sea más corta que la que resultaría al considerar la aceptabilidad del consumidor. Esta metodología ha sido aplicada en estudios de vida útil de productos dietéticos.

Modelar un estudio de vida en anaquel no es tarea sencilla por cuanto son muchas las variables involucradas y no siempre se pueden manejar a voluntad. Los estudios de almacenamiento acelerado dan cuenta de los cambios extremos que puede experimentar un alimento. Son importantes para decidir cuáles variables estudiar y establecer la frecuencia de los controles a realizar (De la Cruz, 2009).

1.6. TIPOS DE EMPAQUES USADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La industria alimentaría usa diversas gamas de empaques elaborados de diversos materiales poliméricos o mezclas de algunos de ellos.

El polietileno es un envase flexible y transparente que tiene como funciones: proteger al producto del oxígeno y humedad, preservar el aroma del mismo, darle estabilidad, resistencia a los agentes, resistencia a los agentes químicos y atmosféricos y a la radiación, resistencia a la tracción, estiramiento y desgarramiento, facilidad para abrirse y cerrarse, susceptible de reciclarse; bajo costo del envase en su transportación y almacenamiento higiénico (Alvarez, 2006).

Otros empaques son, Polipropileno Orientado, blanco y opaco. Es útil para los mercados de galletas, alimentos y confitería, debido a su naturaleza impermeable al aire cuando se le cierra en forma hermética y Polipropileno Biorientado, tiene la densidad más baja de todas las películas comerciales, tiene una buena barrera contra grasas, no cambia las características de protección en climas extremos.

Existe otro tipo de empaque como laminados, los cuales son una mezcla de dos o más películas con adhesivos, por lo que requiere de una mayor tecnología y su costo es más alto (Vidales, 2000); por ejemplo: Laminaciones con aluminio con diferentes materiales como poliéster, PP y poliamida, BOPP, poliamida, alcohol polivinilo y polietileno modificado.

1.6.1. Polietileno de Baja Densidad (LDPE)

El polietileno de baja densidad tiene una estructura ramificada, parcialmente cristalina y es termoplástico, es fabricado bajo altas condiciones de presión y temperatura mediante un proceso de polimerización por radical libre. El LDPE tiene una baja cristalinidad entre 40 a 60% y consecuentemente una baja densidad entre 0,91 a 0,94 g/cc.

Las ramificaciones de las cadenas en el homopolimero de LDPE le brinda características deseables como: claridad, flexibilidad, sellabilidad y fácil procesado. El real valor de todas estas propiedades depende del balance entre su peso molecular y ramificaciones.

El LDPE es muy versátil, se adapta a todo tipo de procesamiento de extrusión, inyección, etc.; siendo su mayor aplicación y el más utilizado en la producción de películas para empaques, bolsas, fundas, etc.

El LDPE se caracteriza por su excelente flexibilidad, buena resistencia al impacto, maquinabilidad, resistencia al impacto, maquinabilidad, resistencia a aceites, resistencia a químicos, tiene una permeabilidad relativamente baja al vapor de agua. Es químicamente muy inerte y carece prácticamente de olor y sabor.

Una de sus principales ventajas es la facilidad con que puede cerrarse térmicamente, y bajo costo (Qintana, 2007). Se muestra las propiedades básicas del LDPE en la Tabla 19

Tabla 19. Propiedades del Polietileno de Baja Densidad (LDPE).

Densidad	0,910 – 0,925 g/cm ³
Tg	-120° C
Tfusión	105° - 115° C
Módulo de Tensión	172 – 517 MPa
Elongación	100 – 965 %
Resistencia al rasgado	200 – 300 g/ 25 µm
WVTR	375 – 500 gµm/m ² , 37,8° C, 90% HR
Permeabilidad, 24° C	3,25E-07 - 6,50E-07 g m/m ² día Pa
Absorción de agua	<0,01 %

Fuente: Quintana, (2007).

1.6.2. Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad es un termoplástico no polar. Su rango de densidad se encuentra entre 0,940 a 0,965 g/cc, y tiene una temperatura de fundición que varía entre 128 a 138 °C. Es uno de los polímeros más versátiles y el segundo en el uso de plásticos para embalaje. En estado natural, el film, si bien es translúcido, no es totalmente transparente, tomando un aspecto céreo, igualmente que el anterior, su aspecto irá variando según el grado y el grosor (galga) (Rigaplast, 2010).

Tabla 20. Propiedades del Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

Densidad	0,940 – 0,965 g/cm ³
Tg	-120° C
Tfusión	128° - 138° C
Módulo de Tensión	620 – 1089 MPa
Elongación	10 – 1200 %
Resistencia al rasgado	20 – 60 g/ 25 µm
WVTR	125 gµm/m ² , 37.8° C, 90% HR
Permeabilidad, 24° C	9,76E-08 - 1,95E-07 g m/m ² día Pa
Absorción de agua	<0,01 %

Fuente: Quintana, (2007).

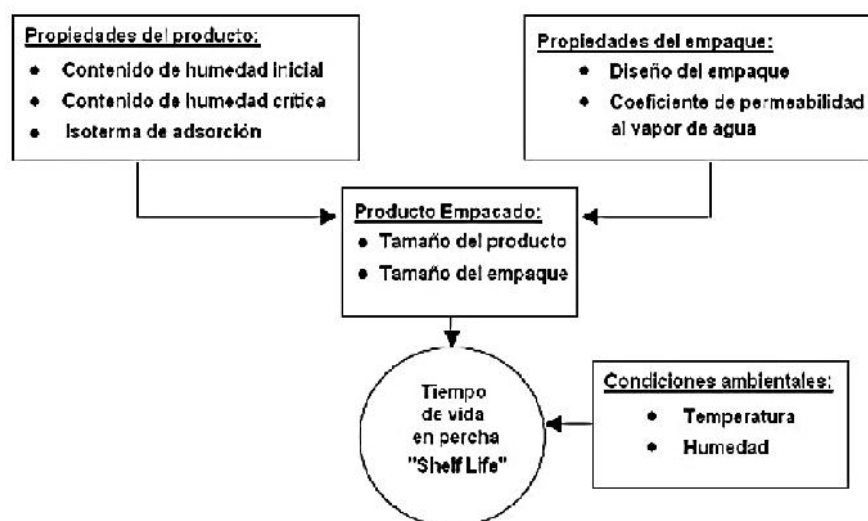


Figura 10. Requerimientos para cálculos de Shelf Life.

Fuente: Quintana, (2007).

En el diseño del empaque, a veces dependiendo de las condiciones de manipulación del mismo, las propiedades mecánicas gobiernan en el diseño, superando enormemente a los requerimientos mínimos del espesor de barrera, requeridas por el alimento.

En la Tabla 21 se enlistan valores de presión de vapor saturado, en un rango de temperaturas que tienen las regiones de nuestro país, que se utilizarán más adelante.

Tabla 21. Presión de vapor saturado en Pascales.

Temperatura (°C)	Presión de vapor (Pa)
0	588,3
5	882, 5
10	1 176,4
20	2 447,3
40	7 440,1
60	19 605,7
80	46 447,0
100	97 494,5

Fuente: Quintana, (2007).

Estas ecuaciones están sujetas a las siguientes condiciones:

- Hay un rápido equilibrio entre las condiciones internas del producto y empaque.
- El pequeño tiempo en alcanzar el estado estable de permeación a través del empaque no es considerado.
- La temperatura es constante a lo largo del tiempo de vida útil.
- P no es afectada por la concentración.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

Este trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo” y los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e industrias Alimentarias y en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Biología.

2.2. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

2.2.1. Materiales

La harina de trigo extruida elaborada por la empresa Molino San Miguel E.I.R.L, con las especificaciones de calidad que se muestran en el Anexo 1. Para los análisis fisicoquímicos se utilizaron los siguientes materiales de laboratorio:

- Matraz Erlenmeyer.
- Vasos de Precipitado.
- Papel Filtro.
- Embudo.
- Soporte universal.
- Aros de hierro.
- Pipeta.
- Bureta.
- Varilla de vidrio.
- Capsula de porcelana.
- Desecador.

2.2.2. Reactivos

Para los análisis fisicoquímicos se utilizaron los siguientes reactivos:

- Fenolftaleína.
- Hidróxido de Potasio (KOH 0,1 N).
- Solución de Almidón 1% (w/v).
- Éter de Petróleo o éter etílico químicamente puro.
- Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,01N).
- Solución Acética-cloroformo (60 - 40).
- Solución saturada de yoduro de potasio (KI sat.).

2.2.3. Equipos

Para las pruebas de vida útil aceleradas se utilizaron cuatro incubadoras con madera prensada (OSB) de 9 mm de espesor, el interior se recubrió con tecnopor de 0,5 pulgadas de espesor, cada incubadora tiene un foco de 100 watts y un termostato-full Gauge MT-512 Ride para el control automático de la temperatura. Para los análisis fisicoquímicos se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza analítica KERN PCB.
- Agitador Magnético NUOVA.
- Estufa a 105 °C.

2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.3.1. Obtención de las muestras

La muestra se empaco en el Molino San Miguel E.I.R.L con domicilio legal en Av. José Balta Nº 2661 José Leonardo Ortiz Chiclayo. De un lote de 500 toneladas se eligieron mediante un muestreo aleatorio simple 20 sacos de harina de trigo extruida de diferentes puntos del lote, de las cuales las muestras se homogenizaron para obtener una muestra global, reduciéndola por el método del cuarteo a 6 Kg., de los cuales se necesitaron 3 700 gr.

2.3.2. Codificación de las muestras

Las muestras fueron codificadas de la siguiente manera:

Temperaturas de Almacenamiento (°C):	30	40	50	60	
Codificación	:	A	B	C	D
Muestras	:	A1	B1	C1	D1
		A 2	B2	C2	D2
	
		A14	B18	C14	D14

2.3.3. Almacenamiento de las muestras

Las 60 unidades fueron almacenadas en 4 incubadoras equitativamente, las temperaturas fueron 30, 40, 50 y 60 °C. En las incubadoras de 30, 50 y 60 °C. Se colocaron 14 muestras, solo en la incubadora de 40 °C se colocaron 18 muestras por ser más extenso el análisis de humedad.

2.3.4. Métodos de análisis

Índice de Peróxido

Se pesó 13,60 gr. de la muestra preparada, se colocaron en un vaso de Erlenmeyer de 100 cm³, se agregó éter de petróleo hasta un poco más de la muestra y se procedió a agitar con una varilla durante 3 minutos aproximadamente. Se filtró sobre papel filtro, y se dejó todo un día (12 hrs.) en un lugar ventilado y a temperatura ambiente, para que se evaporara el éter. Se añadió 30 ml de solución acética – cloroformo (60:40) y se agito hasta la disolución de la grasa, luego se añadieron 1 ml de la solución saturada de ioduro de potasio con pipeta volumétrica (se observó que la muestra viro a color amarillo) luego se agito exactamente 1 minuto. Se agregaron 30 ml de agua destilada y luego se agito, se agregó 1 ml de solución indicadora de almidón y se procedió a titular con Tiosulfato de Sodio (0,01 N) hasta la desaparición del color azul o negro del almidón (NTP 206.016:1981, Revisada el 2011)

Humedad.

Se llevaron las capsulas de porcelana por media hora a la estufa, se procedió a pesar 5 gr. de la muestra y se colocaron en las capsulas, luego se llevó a la estufa a 105 ±5 °C hasta aproximadamente 2 horas, hasta que se obtuvo un peso constante (NTP205.027:1986, 2015).

2.3.4.1. Pruebas y evaluación en almacenamiento acelerado

El Índice de Peróxido se cuantificó por duplicado a intervalos de 1 semana, para cada temperatura de almacenamiento 30, 40, 50 y 60 \pm 0,5 °C, respectivamente. El contenido de humedad se determinó como se observa en la Tabla 23, a temperatura de almacenamiento de 40 ° C. Estos análisis se realizaron en diferentes tiempos para cada temperatura de almacenamiento como se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22. Programación de análisis para la determinación de Índice de Peróxidos.

	Temperatura de Almacenamiento (°C)			
	30	40	50	60
Tiempo (semanas)	Código de Muestras			
1	A3	B5	C13	D1
	A14	B2	C5	D5
2	A1	B1	C7	D11
	A6	B10	C12	D14
3	A8	B14	C1	D6
	A2	B8	C6	D10
4	A7	B13	C14	D4
	A11	B4	C8	D9
5	A4	B6	C9	D3
	A9	B12	C11	D13
6	A12	B9	C3	D2
	A10	B11	C10	D7
7	A5	B7	C2	D12
	A13	B3	C4	D8

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

Tabla 23. Programación de análisis fisicoquímicos para la determinación del % Humedad.

Temperatura de almacenamiento 40 °C	
Tiempo (días)	Código de muestra
1	B5
	B2
7	B1
	B10
11	B14
	B8
22	B13
	B4
25	B6
	B12
35	B9
	B11
56	B7
	B3
64	B16
	B18
70	B15
	B17

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

2.3.5. Determinación del orden y constantes de reacción del Índice de Peróxidos y su dependencia con la temperatura

Todas las muestras estuvieron almacenadas a temperatura constante. Para hallar el orden de reacción se evaluaron durante 7 semanas en incubadoras a 30, 40, 50 y 60 °C. Se determinó el orden de reacción de la formación de peróxidos para cada temperatura acelerada utilizando el indicador estadístico R2 (coeficiente de determinación). Con el orden de reacción establecido se procedió a determinar las constantes de velocidad de formación de peróxidos a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C.

Se evaluó la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción utilizando la ecuación de Arrhenius, la cual según Vidaurre R., (2013) esta ecuación se trata de un modelo lineal que expresa el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad (k) de diferentes reacciones en muchos sistemas alimentarios y se representa de la siguiente manera:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)$$

Ec. 18

Donde:

- ✓ K = constante de velocidad de la reacción.
- ✓ Ko = constante de la ecuación de Arrhenius.
- ✓ Ea = energía de activación que se necesita para vencer la degradación de productos.
- ✓ R = constante de los gases (1,987 cal/K mol).
- ✓ T = temperatura absoluta en Kelvin (K).

2.3.6. Determinación de la ganancia de humedad en el conjunto alimento – empaque

Se evaluó la ganancia de humedad de las muestras durante 70 días. Las muestras de 50 g. fueron acondicionadas en una incubadora que se mantuvo a la temperatura constante de 40 °C, con fuentes de agua con la finalidad de saturar el ambiente, como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Interior de la Incubadora a la temperatura de 40 °C, con depósitos llenos de agua.

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

Se utilizaron los valores de isoterma de sorción de Harina de Trigo a la temperatura de 40 °C, reportados por Gálvez *et al.* (2006), quienes evaluaron las isotermas de adsorción de harina de maíz a diferentes temperaturas. Con los valores de isoterma se determinó la pendiente y los valores de GAB, los cuales fueron insertados en la ecuación 18, así como las características del empaque, como: área, espesor y permeabilidad, para simular la ganancia de humedad en el tiempo (Anexo 8).

2.3.7. Análisis estadístico

Los resultados de las pruebas del índice de peróxido fueron reportados por duplicado y se expresaron en promedio con sus desviaciones estándares. Se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) para evaluar el grado de ajuste entre los diferentes modelos cinéticos y determinar el orden de reacción a diferentes temperaturas de almacenamiento, al igual se utilizó este indicador estadístico para corroborar la linealidad de la ecuación de Arrhenius.

Para evaluar el grado de ajuste entre los valores de ganancia humedad experimental y simulados, se utilizó el indicador estadístico RMSE (Raíz media de la suma del cuadrado del error) (Ec. 19), con la finalidad de determinar si la mejor simulación de ganancia de humedad de la muestra se obtuvo cuando se utilizó la isoterma de sorción lineal o con la isoterma de sorción de GAB.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_e - X_p)^2} \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

- ✓ X_e = es el valor de humedad experimental.
- ✓ X_p = es el valor de humedad predicho.
- ✓ n = es el número de datos.

Se utilizó el diseño estadístico de bloques completamente al azar (DBCA) para evaluar los efectos que tienen la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre el Índice de peróxido de las muestras de harina, utilizando un nivel de significancia del 95%.

III. RESULTADOS

3.1. VIDA ÚTIL A TRAVÉS DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO

En la Tabla 24 se muestran los valores hallados del índice de peróxido de las muestras almacenadas durante 7 semanas con sus respectivos valores de Desviación Estándar (δ).

Tabla 24. Valores de Índice de peróxido (IP) con su Desviación Estándar (δ) en harinas de trigo extruida, almacenadas a diferentes temperaturas.

% de Índices de Peróxidos								
tiempo (semanas)	30 °C	δ	40 °C	δ	50 °C	δ	60 °C	δ
1	1,93	$\pm 0,1$	2,05	$\pm 0,2$	1,97	$\pm 0,2$	2,15	$\pm 0,3$
2	1,66	$\pm 0,2$	2,50	$\pm 0,4$	1,93	$\pm 0,6$	2,49	$\pm 0,3$
3	2,20	$\pm 0,6$	2,53	$\pm 0,2$	2,38	$\pm 0,5$	3,04	$\pm 0,6$
4	2,49	$\pm 0,2$	2,91	$\pm 0,6$	2,68	$\pm 0,3$	3,47	$\pm 1,3$
5	2,63	$\pm 0,4$	3,23	$\pm 0,4$	3,52	$\pm 1,2$	4,25	$\pm 1,1$
6	2,77	$\pm 1,2$	3,37	$\pm 0,6$	3,82	$\pm 1,3$	4,69	$\pm 0,8$
7	3,20	$\pm 0,8$	4,29	$\pm 0,3$	4,31	$\pm 0,7$	5,37	$\pm 0,2$

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

*IP en mEq/kg de grasa.

Nota: Los volúmenes gastados en la titulación se encuentran en el Anexo 3.

Se realizó un análisis de varianza utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), encontrando que tanto el factor temperatura de almacenamiento como tiempo de almacenamiento fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$), los detalles del análisis estadístico se pueden observar en el Anexo 4.

En la Figura 12 se muestran las diferencias entre las medias del índice de peróxido a diferentes temperaturas de almacenamiento, donde se puede apreciar, que las temperaturas de 40 y 50 °C obtuvieron medias similares. Detalles de la prueba de comparación de medias de Tukey se pueden apreciar en el Anexo 5.

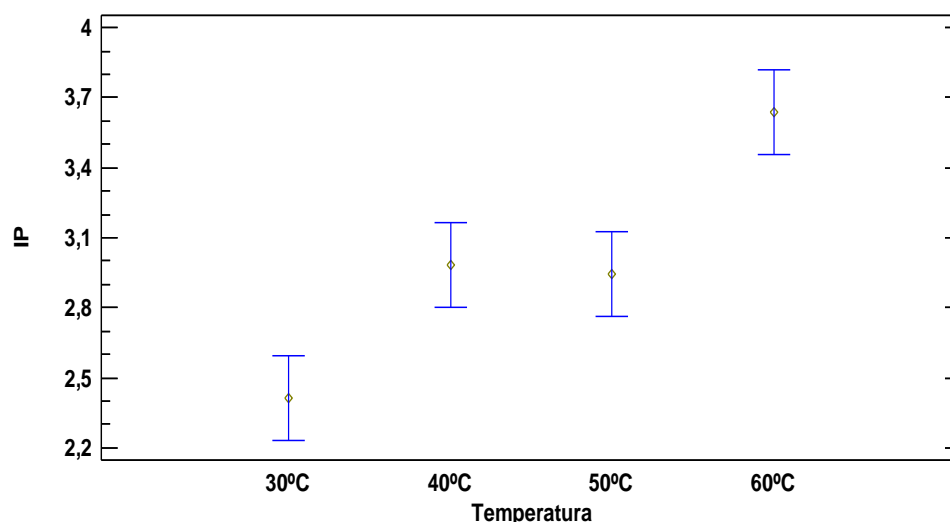


Figura 12. Medias del índice de peróxido a diferentes temperaturas.

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

Se realizó un análisis de regresión lineal simple y se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) para determinar la bondad del ajuste de los datos, siendo la unidad ($R^2 = 1$) el ajuste perfecto. En la Tabla 25 se puede apreciar que el orden de reacción 1 es el que presenta valores más cercanos a la unidad por lo que se puede decir que la formación de peróxidos en harina de trigo extruida sigue una cinética de primer orden.

Tabla 25. Grado de ajuste (τ^2) para las regresiones lineales a diferentes temperaturas.

Cinética de reacción	Temperaturas de almacenamiento			
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
ORDEN 0	0,908	0,926	0,939	0,992
ORDEN 1	0,974	0,958	0,941	0,993
ORDEN 2	0,870	0,957	0,932	0,965

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

En la Figura 13 se muestra los datos experimentales de Índice de Peróxido (IP) de almacenado a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, donde se puede apreciar que todos los datos experimentales se ajustan a una función exponencial, lo que indica que la forma de Índice de Peróxido (IP) en la harina sigue una cinética de reacción de primer orden.

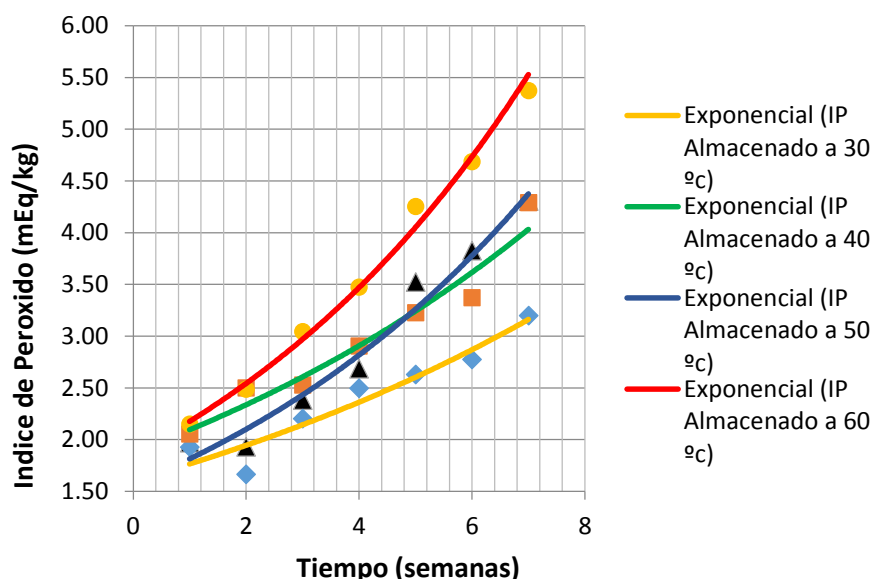


Figura 13. Curvas exponenciales para el Índice de Peróxido.

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

En la Tabla 26 se muestran las constantes de velocidad o también llamadas velocidad de reacción de formación de peróxidos en harina de trigo extruida, donde se puede apreciar que a mayor temperatura se logran mayores valores de constante de velocidad.

Tabla 26. Constantes de velocidad del Índice de peróxido de la harina de trigo extruida a cada temperatura de almacenamiento.

	T 30 °C	T 40 °C	T 50 °C	T 60 °C
K (semanas⁻¹)	0,102	0,109	0,147	0,155

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

T: Temperatura de almacenamiento, k: Constante de velocidad

Para realizar la gráfica típica de Arrhenius se necesita convertir las temperaturas experimentales a Kelvin (K) como se explica en el punto 2.3.5. Luego pasamos la Ecuación 19 a logaritmo, teniendo:

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{Ea}{R} \frac{1}{T} \right) \quad \text{Ec. 20}$$

Tabla 27. Logaritmo neperiano de la constante de velocidad contra la inversa de la temperatura en kelvin.

1/T (K)	LN K
0,0030	-1,862
0,0031	-1,919
0,0032	-2,215
0,0033	-2,279

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

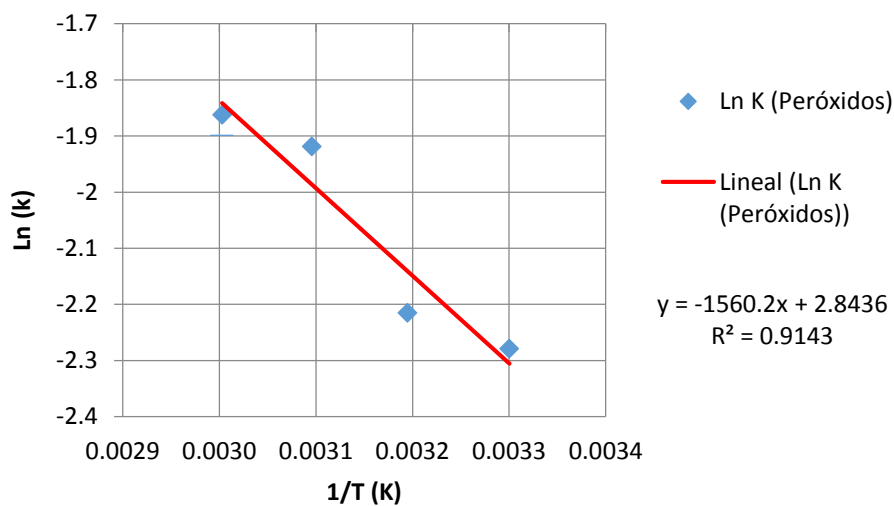


Figura 14. Gráfica típica de Arrhenius de formación de peróxidos de la harina de trigo extruida, con respecto a la temperatura.

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

En la Figura 14 se muestra la ecuación que corresponde a la linealización del modelo matemático de Arrhenius como se muestra en la ecuación 20, la pendiente y el intercepto de esta recta permitieron calcular los valores de la Energía de Activación (E_a) y el factor pre-exponencial (k_0) los cuales fueron:

- $E_a = 3,10 \frac{Kcal}{mol}$
- $k_0 = 17,177$

También con la ecuación de la Figura 14 se puede calcular las constantes de velocidad (k) a cualquier temperatura de almacenamiento para el Índice de peróxido de la harina de trigo extruida. Se calculó las constantes de velocidad a temperaturas de almacenamiento de 45, 23 y 7 °C.

- $k_{45^\circ C} = 0,1271 \text{ s}^{-1}$
- $k_{23^\circ C} = 0,0883 \text{ s}^{-1}$
- $k_{7^\circ C} = 0,0653 \text{ s}^{-1}$

Con los datos encontrados y con el límite de aceptabilidad establecidos por la norma se reemplazan en la Ecuación 9 para hallar el tiempo de vida útil a las temperaturas de almacenamiento de 45, 23 y 7 °C.

Temperatura de Almacenamiento (°C)	TVU (días)
45	111
23	162
7	219

Nota. Los cálculos efectuados se encuentran en el Anexo 7.

3.2. VIDA ÚTIL A TRAVÉS DE LA GANANCIA DE HUMEDAD

3.2.1. Cálculo de la isoterma de adsorción

La isoterma de adsorción de la harina de trigo extruida se obtuvo tomando los valores encontrados por Gálvez, *et al* (2006), quienes determinaron las isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*) a diferentes temperaturas. En la Tabla 28 se muestran los valores experimentales de la A_w y X_w (humedad del producto en g agua/g m.s), hallados a 40 °C.

Tabla 28. Datos experimentales para la determinación de las isotermas de adsorción lineal de la harina de trigo extruida.

A_w	X_w (g agua/g m.s)
0,2	0,05
0,5	0,08
0,55	0,09
0,65	0,11
0,7	0,144
0,8	0,148
0,9	0,17

Fuente: Gálvez, *et al* (2006).

Estos valores se graficaron y se correlacionaron linealmente con la finalidad de determinar la pendiente; así mismo estos valores se modelaron siguiendo la ecuación de GAB (véase la Figura 14).

Siguiendo un modelo lineal de la isoterma, el valor de la pendiente encontrada fue de 0,1808 g agua/g m.s y modelando la ecuación según GAB los valores de las constantes fueron: X_m : 0,053, C : 29,83 y k : 0,794.

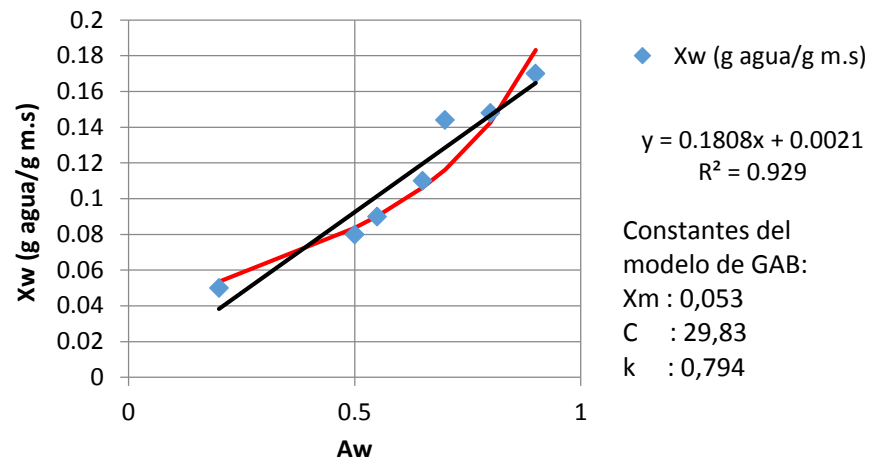


Figura 15. Isotherma de sorción lineal (---) y la isoterma de sorción de GAB (---).

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

SimGH 1.0 v - Simulador de Ganancia de Humedad en Alimentos Empacados

Archivo ▾ Nuevo ▾ Ver ▾ WVTR ⓘ About

Ingresar valores

Datos de alimentos

Humedad inicial (g/g): 0,0582

Humedad de equilibrio (g/g): 0,14

Peso del producto (g): 50

Datos del empaque

Área del empaque (m²): 0,0156

Espesor del empaque (m): 0,000063

Permeabilidad (g m/m² día Pa): 3,8E-07

Condiciones de almacenamiento

Temperatura (°C): 40

Humedad relativa (%HR): 85

Presión de vapor del agua (Pa): 6254,674

Tiempo total de simulación (días): 200

Isoterma lineal Isoterma de GAB

☒ Activar simulación C GAB: 29,83

Mo GAB: 0,053 k GAB: 0,794

Simular Nuevo Cerrar

Desarrollado por: MSc. Julio Mauricio Vidaurra-Ruiz

Figura 16. Simulador de Ganancia de Humedad.

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

La simulación de ganancia de humedad se realizó considerando: Datos del alimento (humedad inicial, humedad en equilibrio y peso del producto), los datos del empaque (permeabilidad, área y espesor), condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, presión de vapor del agua y tiempo total de simulación) los datos de Isoterma (lineal y GAB) (véase la Figura 16).

Ingresando todos los valores al simulador SimGH 1.0 v, desarrollado por Visaurre R., (2013), se pudo simular la ganancia de humedad de harina de trigo extruida sometida a condiciones extremas de almacenamiento (40 °C y 85% HR).

Comparando la simulación obtenida con la isoterma lineal y la simulación obtenida con la isoterma de GAB, se pudo observar que los valores experimentales de ganancia de humedad (Tabla 29) se ajustan mejor a la simulación de ganancia de humedad realizada con la isoterma de GAB (véase la Figura 17).

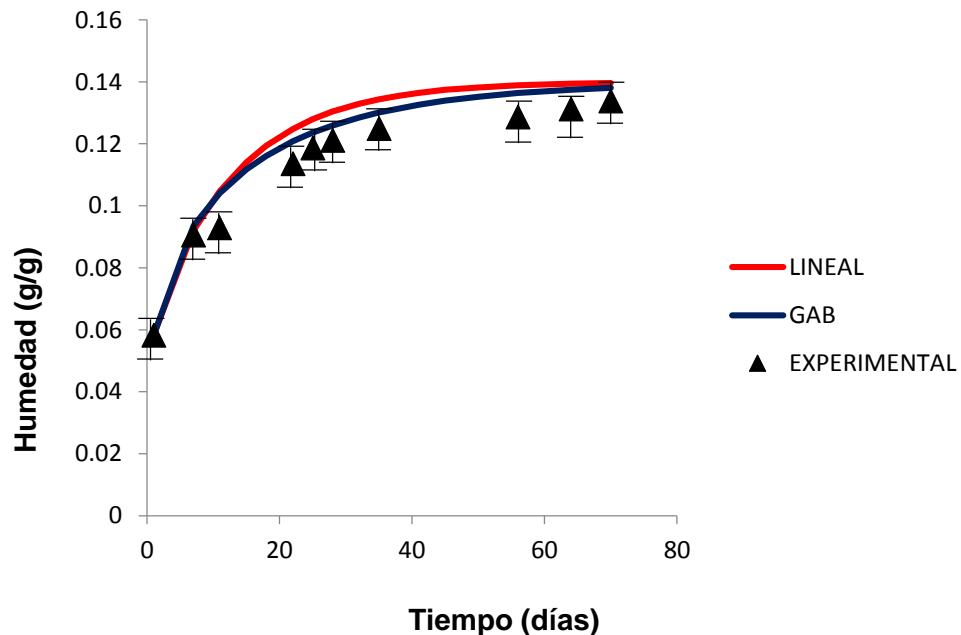


Figura 17. Simulaciones de Ganancia de Humedad considerando la isoterma lineal (---) y la isoterma de GAB (---) en comparación con los resultados experimentales (▲).

El valor del RMSE para la isoterma de GAB fue de 0,0114 y para la isoterma lineal fue de 0,0603. Si bien ambos valores son pequeños al realizar la simulación de ganancia de humedad considerando la isoterma de GAB proporciona valores más ajustados a los valores experimentales.

En el Anexo 6 se puede observar el cálculo de los valores de RMSE con los valores experimentales y las simulaciones.

Tabla 29. Valores del % Humedad en harinas de trigo extruida, con sus valores convertidos a base seca, almacenadas a 40 °C durante 70 días.

tiempo (días)	% Humedad almacenado a 40 °C	En base seca
1	5,5	0,0582
7	8,3	0,0905
11	8,5	0,0929
22	10,2	0,1136
25	10,6	0,1186
28	10,8	0,1211
35	11,1	0,1249
56	11,4	0,1287
64	11,6	0,1312
70	11,8	0,1338

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

3.2.2. Tiempo de vida útil calculados para la ganancia de humedad:

Para tener en cuenta la relación de vida útil de la harina de trigo extruida se debe evaluar la condición climática del ambiente o lugar en el cual se va almacenar.

El principal criterio de condición es la temperatura, la cual, la harina de trigo extruida tiene que tolerar durante su periodo de almacenamiento hasta su recepción final (consumo).

A continuación, se presentan las temperaturas de almacenamiento en °C y el tiempo de vida útil en días, considerando que su principal destino es el departamento de Cajamarca.

Temperatura de Almacenamiento (°C)	TVU (días)
45	69
23	111
7	404

Se conoce que el departamento de Cajamarca presenta una temperatura media anual es de 15,8 °C, que como temperatura máxima puede llegar a 26 °C y como temperatura mínima puede llegar a 7 °C (Micajamarca.com, 2012).

La empresa molino San Miguel E.I.R.L. se encuentra ubicada en la provincia de Chiclayo, departamento Lambayeque; la cual puede llegar a tener temperaturas mínimas de hasta 15 °C y temperaturas máximas de hasta 35 °C, Lambayeque.com (2013). Se considera los ambientes tanto donde se elabora el producto como el lugar de destino final.

En la Tabla 30, se muestran los valores simulados de tiempo de vida útil de la harina de trigo extruida, almacenada a diferentes temperaturas.

Tabla 30. Tiempos de vida útil simulados para la harina de trigo extruida elaborada por el Molino San Miguel E.I.R.L a las temperaturas de almacenamiento de 45, 23 y 7 °C, para la determinación de ganancia de humedad y del Índice de peróxido.

Temperatura de Almacenamiento (°C)	TVU (días) Con humedad	TVU (días) con Índice de peróxido (IP)
45	69	111
23	111	162
7	404	219

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

En la Tabla 31, se muestran los valores simulados del tiempo de vida útil de la harina de trigo extruida en diferentes empaques, cuando es almacenada a temperatura ambiente.

Tabla 31. Tiempos de vida útil estimados de la harina de trigo extruida calculados en diferentes envases a una temperatura de almacenamiento de 23 °C.

	Permeabilidad mínima (g m/ m2 día Pa)	Permeabilidad máxima (g m/ m2 día Pa)
HDPE*	9,76E-08	1,95E-07
TVU 23°C	342 días	171 días
LDPE*	3,25E-07	6,50E-06
TVU 23°C	103 días	5 días
OPP*	6,51E-08	1,63E-07
TVU 23°C	512 días	205 días

Fuente: Elaboración Propia, (2016).

*HDPE: Polietileno de Alta Densidad, LDPE: Polietileno de Baja Densidad y OPP: Polipropileno.

IV. DISCUSIÓN

4.1. ORDEN DE REACCIÓN

La cinética de formación de peróxido en harina de trigo extruida, realizada en esta investigación, siguió una cinética de primer orden lo cual se corrobora con lo reportado por Tarazona & Raños (2001) quienes determinaron la estabilidad de las hojuelas fritas de papa a temperatura ambiente analizando el Índice de peróxido, así como pruebas sensoriales. Determinando que el tiempo de vida útil analizando el Índice de peróxido fue de 162 días, en cambio para la prueba sensorial el tiempo de vida útil fue de 90 días.

De la misma manera Valenzuela & Rojas (2006) determinaron la optimización y estabilidad de la obtención de la harina de nuez donde la velocidad de reacción se ajustó a una cinética de orden 1. La cinética de deterioro de la harina de nuez se hizo midiendo el Índice de peróxido (IP) a 20, 30 y 40 °C. La vida útil de la harina a 20 °C fue de 98 días, mientras que a 30 °C y 40 °C fue de 84 y 70 días respectivamente.

De lo contrario Calligaris (2007) en su trabajo donde modelaron la vida útil de productos de panificación utilizando Índices de oxidación, determinaron que el Índice de peróxido sigue una cinética de orden cero, esto se puede deber a que a los productos de panificación se les adiciono grasa en su composición.

4.2. CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN

La constante de velocidad (k) del Índice de peróxido en la harina de trigo extruida determinada en esta investigación a la temperatura de 30 °C obtuvo un valor de 0,102 sem⁻¹, mientras que para las temperaturas de 40 °C, 50 °C y 60 °C se obtuvieron los valores de 0,109 , 0,147 y 0,155 sem⁻¹ respectivamente, lo cual se comprueba con lo reportado por Valenzuela & Rojas (2006) quienes determinaron la optimización y estabilidad de la obtención de la harina de nuez, incubando las muestras a las temperaturas de 20, 30 y 40 °C dándoles a 20 y 30 °C un valor de 0,063 y 0,0714 sem⁻¹ respectivamente y para la temperatura de 40 °C un valor de 0,1099 sem⁻¹, siendo este último valor casi exacto por lo investigado.

4.3. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

La energía de activación del peróxido en harina de trigo extruida ejecutada en esta investigación fue de 3,10 kcal/mol, lo cual se confirma con lo reportado por Valenzuela & Rojas (2006) quienes determinaron la optimización y estabilidad de la obtención de la harina de nuez donde la energía de activación fue de 2,68 kcal/mol lo cual es un valor muy cercano al obtenido en este estudio.

Así mismo Aravena (2006) determino las isothermas de adsorción en harina de maíz trabajando con las constantes de GAB (X_m , C y k) las cuales se evaluaron con la ecuación de Arrhenius, obteniéndose así la energía de activación (E_a) a 3,3 kcal/mol, lo que se reafirma con lo investigado. De igual forma Rojas & Arteaga (2010), evaluaron la estimación de la vida útil en alcachofa, marinados en conserva y en el contenido de omega 3 y 6, incubando las muestras a las temperaturas de 37, 49 y 55 °C, evaluando la cinética de deterioro de la grasa en función al Índice de peróxido, encontrándose un valor de energía de activación de 2,3 kcal/mol.

4.4. GANANCIA DE HUMEDAD

El procedimiento de la ganancia de humedad en harina de trigo extruida elaborada en esta investigación fue hallar la isoterma de sorción, la cual se determinó usando datos bibliográficos, así como también las constantes de GAB simuladas a las temperaturas de almacenamiento de 7, 23 y 40 °C, en el simulador SimGH 1.0 v, desarrollado por Vidaurre R. (2013), ingresándose todos los datos del alimento (humedad inicial, humedad en equilibrio y peso del producto), los datos del empaque (permeabilidad, área y espesor), condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, presión de vapor del agua y tiempo total de simulación) y los datos de Isoterma (lineal y GAB), el método anteriormente expuesto también coincide con lo realizado por Ramirez 2014) quienes determinaron isothermas de sorción de harina de maíz nixtamalizada a tres temperaturas (24, 30 y 35 °C), para la determinación de las isothermas de adsorción, estos utilizaron el método de celda de equilibrio adicional a ello aplicaron el modelo de GAB para ajustar las isothermas experimentales, a través del programa Water Analyzer Series, (Windows 98. Knowledge Revolution basada en Excel), este modelo fue uno de los de mayor ajuste (con un error relativo medio <4,4%).

Por otro lado Kulchan (2010) predijeron el tiempo de vida útil de productos empacados de harina de yuca, quienes embalaron 50 g de muestras en empaques de LDPE de 0.103 x 0,156 m de 50 lm y 50 bolsas de OPP, almacenando sus muestras a 30 ± 1 °C y 50 ± 2 %HR, para simular las condiciones de almacenamiento y determinar vida útil. Las bolsas que contuvieron las muestras se evaluaron cada 3 a 4 días, para determinar el contenido de humedad, la dureza sensorial, hasta que los productos llegaran a su límite crítico de humedad. Observaron que la humedad de la sorción cinética fue más rápida en la etapa inicial, mientras que una menor cantidad de humedad se adsorbe tal como la adsorción aumento en el tiempo. Cuanta más alta sea la humedad relativa, es más pronunciado el efecto. Usaron modelos empíricos como el de GAB, el cual fue uno de los de mejor ajuste para este producto.

Del mismo modo Nobile (2006), desarrollaron un nuevo método para la predicción de vida útil de un empaque de merienda sensible a la humedad, utilizando capas múltiples de percepción neural, se estableció para los snack de arroz almacenarse a 30 °C y 75 %HR, 30 °C y 85 %HR y 40 °C y 75 %HR, la muestra fue unida al plato, y los bordes de la muestra sellada con parafina derretida para impedir el paso de vapor dentro, fuera o alrededor de los bordes de la muestra. Se presentó un modelo matemático capaz de predecir la vida de almacenamiento de alimentos secos a base de cereales. Los modelos desarrollados se utilizaron para evaluar la influencia sobre la vida útil de los productos secos a base de cereales, así como del agua y las propiedades de barrera del paquete y la afinidad del alimento envasado con agua. Usaron tres diferentes alimentos secos a base de cereales y 3 películas de poliamida diferentes, determinaron la energía de activación para la permeabilidad al vapor de agua de películas de LDPE y OPP. Utilizaron en este trabajo la ecuación de GAB (Guggenheim - Anderson - De Boer), que fue recomendado por el grupo costo-90.

Azanha & Faria (2006), investigaron sobre el uso de modelos matemáticos para estimar la vida útil de cereales en el sector del embalaje flexible, evaluando en tres diferentes modelos matemáticos (lineal, punto medio y logaritmo intervalo). El factor limitante para cereales es ganancia de la humedad del entorno externo, la precisión de estos métodos depende de la precisión de los puntos experimentales

de las isothermas de sorción. El conocimiento del modo de deterioro del producto y el contenido de humedad crítica, fueron fundamentales para la comprensión y la creación de los límites para validar los modelos. Para hallar la isoterma de adsorción la muestra del producto fue colocada en una cámara cerrada en una determinada humedad relativa (HR). En este experimento se usaron ocho diferentes salas a 23 °C. La bondad del ajuste se evaluó por la raíz cuadrada de la media (RMS). El modelo de GAB dio el mejor se ajusta a los datos experimentales, mostrando un menor valor de RMS de los otros modelos.

Igualmente Ikhu & Chen (2006), usaron las isothermas de Sorción para la Valoración de tiempo de durabilidad de Harinas zimbabuenses, hecha de dos harinas: harina de maíz y mijo. Obtuvieron las isothermas de sorción por el método gravimétrico a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Utilizaron el modelo matemático de GAB para describir los datos a una escala más precisa. La vida de ambos materiales se estimó a partir de los datos sobre la sorción y recomendaciones sobre condiciones de embalaje y almacenamiento. Se confirma en esta investigación que la ecuación de GAB proporciona una mejor descripción para isothermas de alimentos hasta una A_w de 0,9.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Para el cálculo del índice de peróxido (IP) en la harina de trigo extruida, considerando las 7 semanas analizadas y los factores de tiempo y temperatura significantes de 30, 40, 50 y 60 °C, se obtuvo que a medida que la temperatura cambia y el tiempo de prueba aumenta el IP aumenta. Dentro de las temperaturas de 40 y 50 °C la variación del IP son similares no determinándose muy baja variación, como se puede apreciar en la figura 12.

Al aplicar el análisis de regresión lineal simple se puede determinar las constantes de velocidad relacionados al índice de peróxido, de lo cual se aprecia que a mayor temperatura la constante de velocidad va en aumento, en la temperatura de 30 °C se obtuvo una constante de velocidad de 0,102 y a 60 °C llegó a 0,155.

Todas las temperaturas evaluadas concluyen que a medida que estas aumenten el índice de peróxido (IP) y la constante de velocidad aumentan simultáneamente, por ello se debe evaluar las temperaturas a las cuales la harina de trigo estará expuestas a almacenamiento, las cuales son 7, 23 y 45 °C.

Así mismo, la velocidad de reacción del índice de peróxido a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C es de 0,102, 0,109, 0,147 y 0,0155 respectivamente. Las constantes de velocidad o también conocida como velocidad de reacción de peróxido para la harina de trigo extruida va en aumento si las temperaturas a las cuales se pone bajo análisis aumenta.

Los tiempos de vida útil (TVU) con relación al índice de peróxido (IP) encontrados a las temperaturas de almacenamientos mencionados, las cuales se determinan evaluando el ambiente del lugar donde pasan el proceso de fabricación y su lugar de destino final, fueron de 3,7 meses (111 días) para 45 °C, de 5,4 meses (162 días) para 23 °C y de 7,3 meses (219 días) para 7 °C. Resultados que demuestran que a menor temperatura el tiempo de vida útil de la harina de trigo extruida es mayor.

Los tiempos de vida útil (TVU) con relación a la ganancia de humedad a las temperaturas de 45, 23 y 7 °C es de 69, 111 y 104 días respectivamente. El % de humedad almacenado a 40 °C durante 70 días analizados pasa del día 1 con 5,5 a 11,8 en el día 70.

Un aspecto importante para determinar el TVU es la temperatura, si bien el análisis se desarrolló bajo las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, las temperaturas finales para dar la respuesta de los tiempos de vidas útiles con relación al grado de humedad y el índice de peróxido que tiene la harina de trigo extruida en especial la que elabora la empresa Molino San Miguel E.I.R.L. es la que tiene el ambiente en el cual será almacenado.

Se debe tener en cuenta tanto el ambiente del cual sale el producto final como el cual al que va destinado, los lugares principales a los cuales vende la empresa Molino San Miguel E.I.R.L. son el departamento de Lambayeque y Cajamarca, por ello se consideran las temperaturas de 45, 23 y 7 °C.

V. CONCLUSIONES

- El tiempo de vida en anaquel de la harina de trigo extruida se determinó se determinó por el método ASLT (Accelerated Shelf Life Test) o Prueba de vida útil acelerada, se obtuvo un tiempo de 111 días mediante pruebas fisicoquímicas a una condición de almacenamiento de 23 °C.
- El Índice de peróxido (IP) que se obtuvo en la última semana de análisis que es la semana 7 se obtuvo el IP al 30 °C de 3,20; a 40 °C es 4,29; a 50 °C de 4,31 y a 60 °C de 5,37. A medida que pasa más tiempo y aumentan las temperaturas el Índice de peróxido suele aumentar.
- El proceso oxidativo de la harina de trigo extruida a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, se ajusta a una cinética de primer orden, los valores encontrados en cada temperatura fueron a 30 °C de 0,974, a 40 °C de 0,958, a 50 °C de 0,941 y a 60 °C de 0,993; todos cerca a la unidad
- Las constantes de velocidad de reacción del Índice de Peróxido a las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C fueron respectivamente 0,102; 0,109; 0,147 y 0,155 sem^{-1} , y la energía de activación calculada según la ley de velocidad obtenida en el estudio de vida útil fue de 3,10 Kcal/mol.
- Se determinó el % de Humedad a la temperatura de 40 °C durante 70 días. Durante los cuales se obtuvo un % de humedad que va de 5,5 a 11,8 conforme pasaban los días analizados.
- El tiempo de vida útil (TVU) con relación al Índice de peróxido en las temperaturas de 45, 23 y 7 °C son de 111, 162 y 219 días respectivamente, lo cual expresa que a mayor temperatura los días de vida útil se reducen. En cuanto al TVU con relación a la ganancia de humedad a las temperaturas ya mencionadas son 69, 111 y 404 respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar otros parámetros de calidad en la determinación del tiempo de vida útil fisicoquímico para las harinas de trigo extruida, como por ejemplo la textura y la acidez.
- Se puede obtener mayor tiempo de vida útil para productos en base seca empleando otro tipo de empaques como el Cloruro de Polivinilideno (PVDC) a una permeabilidad mínima.
- La mala manipulación de empaques disminuye el tiempo de vida útil de los productos, por lo tanto, es recomendable distribuir en óptimas condiciones de almacenamiento o tener precaución con el manejo de los envases, porque permite un mayor ingreso de vapor cuando el empaque ha sido previamente manipulado.

-

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarez V. (2006). *Efecto de las condiciones de almacenamiento en el tiempo de vida útil de productos de consumo masivos de baja humedad empacados en películas plásticas*. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../Tesis_Vivian_Alvarez.doc
- Arango M. (2007). *Plantas medicinales: Botánica de interés médico*. Bogotá: Microbiología.
- Aravena, (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (zen mays I.) . *Ciencia y tecnología de los alimentos, Universidad de la Serena, Chile*.
- Azanha & Faria, (2006). uso de modelos matemáticos para la estimación de la duración de copos de maíz en embalaje flexible . *Sau Paulo Brazil*.
- Badui S. (2006). *Química de los alimentos* . Mexico: Pearson .
- Cabeza, E. (09 de diciembre de 2011). *Academia.edu*. Obtenido de Aplicación de la microbiología predictiva para determinación de la vida útil de los alimentos.
- CajamarcaPeru.com, (2012) - *Mostrando al Mundo Nuestra Imagen*.
- Calligaris, (2007). *Modelación de la vida útil de productos de panificación utilizando índices de oxidación*. Italia: Universidad de Udine, departamento de ciencia de los alimentos.
- Codex, (2007). *Cereales, legumbres, leguminosas y productos proteínicos vegetales*.
- Cuniberti M. (diciembre de 2010). *Relación gluten/ proteína en trigo*. Obtenido de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-03relacion_gh-prot_en_trigo-cuniberti_-mir.pdf

- De la Cruz W. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (Triticum aestivum L.) por harina de quinua (Chenopodium quinoa Willd) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1742/TAL15.121-T.pdf?sequence=1>
- Díaz, M. (2016). *Método acelerado para determinar tiempo de vida útil del King Kong de manjar blanco envasado al vacío*. Obtenido de academia.edu: http://www.academia.edu/8406294/C%C3%93DIGO_DEL_PROYECTO_Palabras_clave_M%C3%A9todo
- Edel A. & Rosell C. (2007). *Iseki food*. Obtenido de De tales harinas, tales panes: https://www.iseki-food.net/webfm_send/1729
- FAO, (2008). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/>
- Galvez, Aravena y Mondaca, (2006). *Evaluación de las isotermas de adsorción en harina de maíz (Triticum aestivum L.)*.
- Gimferrer N. (2012). *Eroski consumer*. Obtenido de El agua en los alimentos : <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2008/03/26/175613.php>
- Goesaert H., Bris K. & Veraberbeke W, (2009). *Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales*. Obtenido de http://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf
- Guerrero A. (2007). *Cultivos herbáceos extensivos*. Mexico : Mundi Prensas .
- HACCP Molino San Miguel E.I.R.L. (2014).
- Ikhu O. & Chen, (2006). Utilización de isotermas de sorción para la estimación de vida útil de harinas de zimbabujenses.
- INEI, (2013). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>

Kulchan, (2010). Vida útil de la harina de yuca envasada usando modelos empíricos y energía de activación para permeabilidad del vapor acuática en películas de polietileno de baja densidad .

Lambayeque.com, (2013). *Clima en Lambayeque*. Obtenido de Departamento turístico peruano: <http://www.lambayeque.com/departamento/clima.php>

Lobo J. (2015). *Actividad acuosa y alimentos*. Obtenido de http://www.academia.edu/14058853/Actividad_Acuosa_y_alimentos

Manual de Ingenieros de Alimentos, (2009). *Norma General para el etiquetado de Alimentos Preenvasados*.

Martínez J. (2012). *El club del pan* . Obtenido de Harina de trigo integral : http://www.elclubdelpan.com/libro_maestro/harina-de-trigo-integral

Micajamarca.com, (2012). *Tips para el turista*. Obtenido de <http://www.micajamarca.com/Tips/tabid/64/Default.aspx>

MINAGRI, (2012). *Ministerio de Agricultura y Riesgo del Perú*. Obtenido de <http://minagri.gob.pe/portal/>

Molino San Miguel E.I.R.L. (2014).

Montilla L. & Sanz N. (2016). *Efectos del calentamiento de aceites comestibles sobre sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas* . Obtenido de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-16-10033.pdf>

Nobile, (2006). Método para la predicción de vida útil de un empaque de mermelada sensible a la humedad.

NTP 205.027:1986. (2015). Harina de Trigo para consumo doméstico y uso industrial. Obtenido de <http://documentslide.com/documents/trigo-55b94ea838270.html#>

NTP 206.016:1981, Revisada el 2011. GALLETAS. Determinación de peróxidos. Obtenida de la Biblioteca Virtual de INDECOPI.

- Pathlrana L. & Shahidi F. (2007). Antioxidant and free radical scavenging activities of whole wheat and milling fractions. *Fppd Chemistry*.
- Peleg, M., Corradini, M. & Normand, M. (2012). Isothermal and Non-isothermal Kinetic Models of Chemical Processes in Foods Governed by Competing Mechanisms. *Journal of Agricultural and food cheminstry*, 7377-7386.
- Peña, J. (2006). *Efectos de los ciclos de freido en la calidad del aceite de canola utilizado para elaborar totopos de maiz*. Obtenido de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/161_jorge_pena.pdf
- Ponzio, N. (2010). *SediciUNLP*. Obtenido de Calidad panadera de variedades de trigo ùras y mezclas. Influencia del agregado de aditivos : http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19948/Documento_completo.pdf?sequence=1
- QaliWarma, (2014). *Programa nacional Qaliwarma* . Obtenido de <http://www.qaliwarma.gob.pe/>
- Quintana, J. (2007). *Analisis y diseño de empaques flexibles laminados para envasar alimentos* . Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../5996/.../Capítulo%203.doc...>
- Quiñones, J. (2015). *Vida util y calidad sensorial*. Obtenido de Bebida probiotica de lactosuero adicionada con pulpa de mango y almendras : http://www.academia.edu/11265428/Vida_util_y_calidad_sensorial
- Ramirez, M. (2014). Determinacion de las isotermas de sorcion y las propiedades termodinamicas de harina de maiz nixtamalizada. *Revista mexicana de ingenieria quimica*.
- Rigaplast, (2010). *Rlgaplast Industrial S.A*. Obtenido de Fabrica de bolsas y bobinas de plasticos : www.rigaplast.com
- Robertson, G. (2009). *Food packaging in: Food Science and Technology*. Geoffrey Campbell-Platt.

- Roccia, P. (2011). *UNLP*. Obtenido de Uso de enzimas y oxidantes en productos de panificación fortificados. Estudio de las propiedades físico químicas y funcionales : http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2695/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Rojas, C., & Arteaga, H. (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. *Scientia Agropecuaria* , 207-211.
- Ruiz, C., Cotrina, J., & Neef, J. (2006). *Manual Manejo tecnificado del cultivo de trigo en la sierra* .
- Salas, W. (2006). *Materiales de empaque*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de investigación y capacitación de envases y embalajes: tarwi.lamolina.edu.pe/~fwsalas/CAP-02.rtf
- Serato, M. (2013). *Nutrinova*. Obtenido de Vida en el anaquel : <http://nutriuniver8.blogspot.pe/2013/04/24-vida-en-el-anaquel.html>
- Shafiur, H. (2007). *Manual de conservación de los alimentos*. USA: CRC Press.
- Tanazona, G., & Raños, V. (2001). *Estudio de la estabilidad de las hojuelas fritas de papa durante el almacenamiento al medio ambiente*. Lima: UNALM. Obtenido de UNALM.
- USDA, (2014). *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos* . Obtenido de https://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=EN_ESPANOL
- Valenzuela & Rojas, (2006). *Optimización de la obtención de harina de muez (juglans regia) de la variedad semilla californiana, Chandler y serr y estudio de su estabilidad química en el tiempo*. Chile: Universidad de Chile, Ingeniería de alimentos .
- Vidaurre & Solano, (2014). El ingeniero Lambayecano . *Colegio de Ingenieros de Lambayeque*.
- Vidaurre, J. (2015). *Teach Food Engineering* . Obtenido de Ganancia de humedad en los alimentos empacados: <https://sites.google.com/site/jmvidaurre/ruiz/ganancia-de-humedad-en-alimentos-empacados>

Vidaurre R. (2013). *Principios basicos para determinar la vida util de los alimentos*. Obtenido de Colegio de Ingenieros del Perú- Consejo de partamental de Lambayeque.

Villarroel J. (2013). *Estudio del efecto de la temperatura en la resistencia y migraciones de un evase plastico. Validacion y efectos sensoriales*. Obtenido de Universidad politecnica de catalunya :
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20459/memoria.pdf>

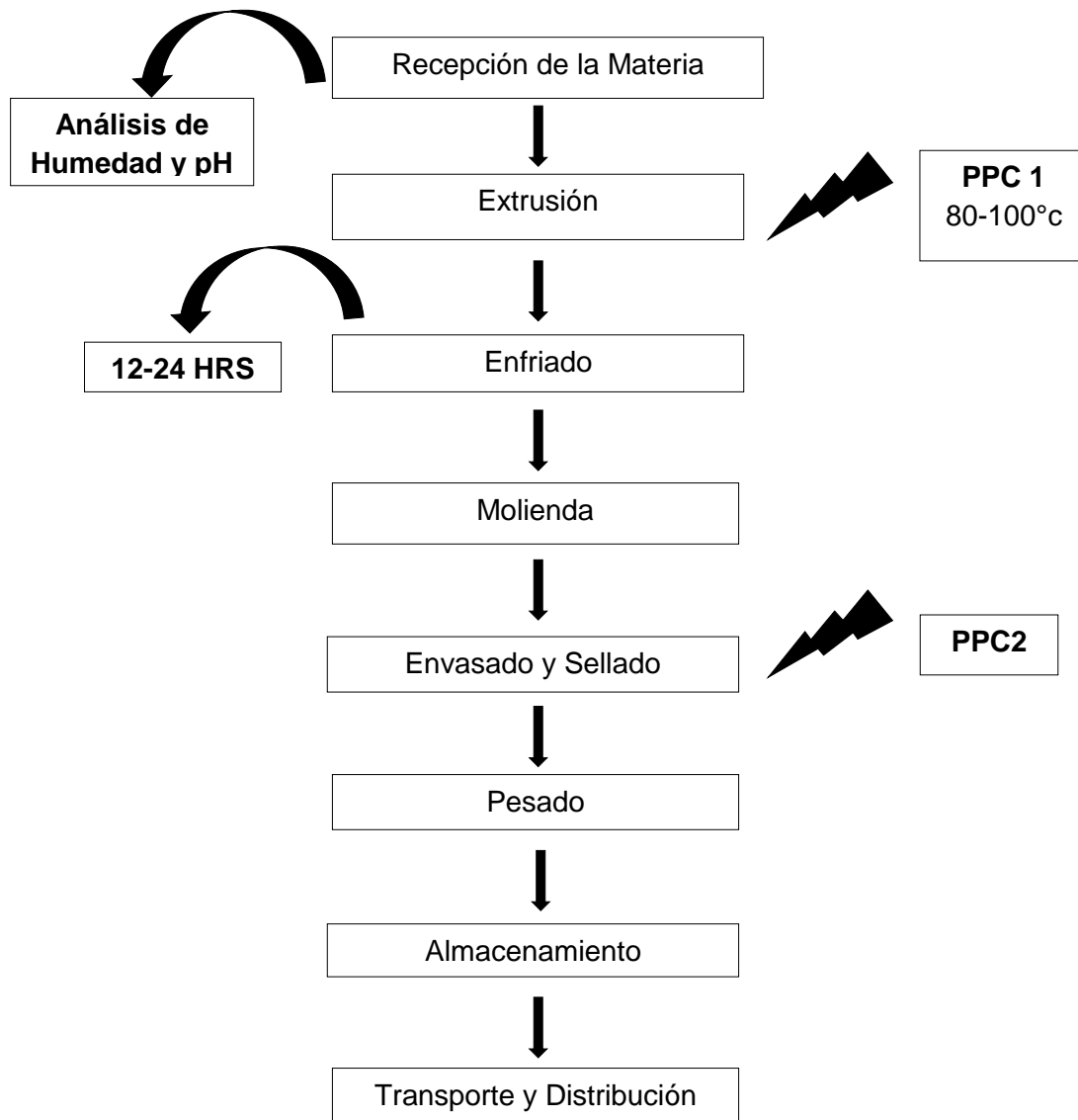
ANEXOS

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUÍDA.

DATOS DEL PRODUCTO								
NOMBRE DEL	Harina de Trigo Extruda							
DESCRIPCIÓN	Producto elaborado a base de granos de trigo clasificados y/o seleccionados, desinfectados libres de impurezas que han sido triturados y extruidos hasta formar la harina; que puede ser fortificada y/o enriquecida con vitaminas y minerales. De sabor y aromas definidos de la aceptabilidad para los consumidores.							
LÍNEA DE PRODUCCIÓN	Productos de Consumo Directo como Extruidos, Expandidos, Hojuelas Instantáneas y Otros.							
ESPECIFICACIONES	ORGANOLEPTICAS							
	COLOR	:	Blanco cremoso					
	OLOR	:	Característico del cereal					
	AROMA	:	Característico del cereal					
	SABOR	:	Agradable propio del cereal					
	TEXTURA	:	Polvo homogéneo libre de grumos					
	FÍSICO QUÍMICAS (Composición del alimento en 100gr.)							
	HUMEDAD (Máximo 8.0%)	:	7.95 %					
	ENERGÍA	:	382.10 Kcal./100gr.					
	PROTEÍNAS (N x 6.25) base seca	:	12.36 %					
	GRASA	:	21.15 %					
	CARBOHIDRATOS	:	60.32 %					
	CENIZA	:	1.2%					
	ACIDEZ (exp. Ácido Sulfúrico)	:	0.02 %					
	SAPONINA	:	Ausente					
	Fuente: Características propias de la formulación del producto.							
	MICROBIOLÓGICAS							
	Agente Microbiano		Categoría	Clase	Límite por Gramo			
					n	c	m	M
	Aerobios mesófilos		3	3	5	1	10 ⁴	10 ⁵
	Coliformes		6	3	5	1	10	10 ²
	Bacillus Cereus		8	3	5	1	10 ²	10 ⁴
	Mohos		6	3	5	1	10 ³	10 ⁴
Levaduras		3	3	5	1	10 ³	10 ⁴	
Staphylococcus aureus		8	3	5	1	10	10 ²	
Salmonellas /25		12	2	20	0	0	--	
Fuente: R.M. Nº 451-2006/MINSA y R.M. Nº 591-2008-MINSA								
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	Almacenar en ambiente cerrado y ventilado, exclusivo para almacenamiento de alimentos, de tal modo que permita protegerlos de la exposición al medio ambiente. Ubicar sobre parihuelas o estantes, nunca sobre el piso.							
CODIGO DEL LOTE	El lote será identificado por ocho (8) dígitos, los que indicaran el número del lote, día, mes y año de producción: 1 ^{er} y 2 ^{do} = número del lote; 3 ^{ro} y 4 ^{to} = día; 5 ^{to} y 6 ^{to} = mes; 7 ^{mo} y 8 ^{vo} = año.							
COMPOSICIÓN DEL PRODUCTO	Componentes		%	Gramos	Origen			
	Harina de Trigo		100.00	100.00	Nacional			
CONSUMIDORES	Para niños en edad infantil, escolar desde los 6 meses y público en general.							
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	Se debe mantener en un lugar fresco y ventilado, exclusivo para almacenamiento de alimentos. Ubicar siempre sobre parihuelas o estantes. Nunca sobre el piso.							
ROTULADO Y ETIQUETADO	Razón social, dirección, RUC del fabricante, nombre del producto, registro sanitario, número del lote de producción, peso neto, fecha de producción,							
CODIGO DEL LOTE	El lote será identificado por 6 dígitos, correspondientes al día, mes y año (ddmmaa)							

Fuente: HACCP del Molino San Miguel E.I.R.L, (2014).

ANEXO 2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA HARINA DE TRIGO EXTRUIDA.



Fuente: Molino San Miguel E.I.R.L, (2014).

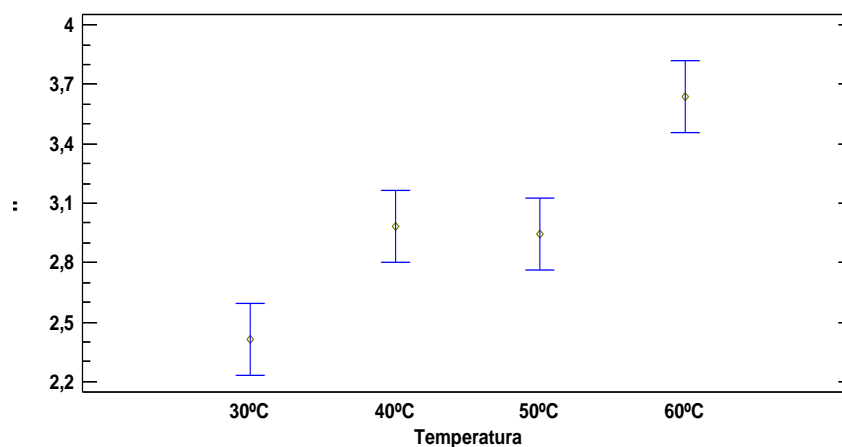
**ANEXO 3. GASTOS OBTENIDOS DE LA TITULACIÓN PARA HALLAR EL %
INDICE DE PERÓXIDO DE CADA MUESTRA A LAS DIFERENTES
TEMPERATURAS ANALIZADAS.**

		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS
1 04/02/15	30	A3	6,85	1,32	1,81021898	1,663126982
		A5	6,86	1,22	1,51603499	
	50	C2	6,85	1,22	1,51824818	1,928714731
		C5	6,84	1,5	2,33918129	
	60	D1	6,83	1,62	2,69399707	2,487349413
		D5	6,84	1,48	2,28070175	
	40	B5	6,85	1,65	2,77372263	2,497972425
		B2	6,84	1,46	2,22222222	
		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS
2 11/02/15	30	A1	6,85	1,31	1,7810219	2,202464302
		A6	6,86	1,6	2,62390671	
	50	C7	6,85	1,63	2,71532847	2,381056046
		C12	6,84	1,4	2,04678363	
	60	D11	6,83	1,6	2,63543192	3,042862158
		D12	6,84	1,88	3,4502924	
	40	B1	6,85	1,61	2,65693431	2,525547445
		B10	6,85	1,52	2,39416058	
		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS
3 18/02/15	30	A8	6,86	1,61	2,65306122	2,494413824
		A2	6,85	1,5	2,33576642	
	50	C1	6,85	1,7	2,91970803	2,684343811
		C6	6,86	1,54	2,44897959	
	60	D6	6,85	1,58	2,56934307	3,474452555
		D10	6,85	2,2	4,37956204	
	40	B3	6,85	1,84	3,32846715	2,905109489
		B8	6,85	1,55	2,48175182	
		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS
4 25/02/15	30	A7	6,85	1,7	2,91970803	2,627737226
		A11	6,85	1,5	2,33576642	
	50	C4	6,84	2,2	4,38596491	3,521449609
		C8	6,85	1,61	2,65693431	
	60	D4	6,84	2,41	5	4,251824818
		D9	6,85	1,9	3,50364964	
	40	B7	6,85	1,9	3,50364964	3,226277372
		B4	6,85	1,71	2,94890511	
		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS

5 04/03/15	30	A4	6,85	1,95	3,64963504	2,773722628
		A9	6,85	1,35	1,89781022	
	50	C9	6,85	2,32	4,72992701	3,824817518
		C11	6,85	1,7	2,91970803	
	60	D3	6,85	2,51	5,28467153	4,686131387
		D8	6,85	2,1	4,08759124	
	40	B6	6,85	2	3,79562044	3,370113426
		B12	6,86	1,71	2,94460641	
		muestras	Pmuestra	Gasto	%IP	PROMEDIOS
6 18/03/15	30	A12	6,85	1,59	2,59854015	3,197080292
		A10	6,85	2	3,79562044	
	50	C3	6,85	2,35	4,81751825	4,306569343
		C10	6,85	2	3,79562044	
	60	D2	6,85	2,6	5,54744526	5,372262774
		D7	6,85	2,48	5,19708029	
	40	B9	6,85	2,1	4,08759124	4,28869358
		B11	6,86	2,24	4,48979592	

ANEXO 4. DBCA

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Analysis of Variance for IP - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Temperatura	5,28933	3	1,76311	16,94	0,0000
B:BLOCK	16,7339	6	2,78898	26,79	0,0000
RESIDUAL	1,87365	18	0,104092		
TOTAL	23,8969	27			
(CORRECTED)					

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of IP into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 2 P-values are less than 0,05, these factors have a statistically significant effect on IP at the 95, 0% confidence level.

ANEXO 5. TUKEY

Multiple Range Tests for IP by Temperatura

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Temperatura	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
30°C	7	2,41143	0,121944	X
50°C	7	2,94429	0,121944	X
40°C	7	2,98286	0,121944	X
60°C	7	3,63714	0,121944	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
30°C - 40°C	*	-0,571429	0,487595
30°C - 50°C	*	-0,532857	0,487595
30°C - 60°C	*	-1,22571	0,487595
40°C - 50°C		0,0385714	0,487595
40°C - 60°C	*	-0,654286	0,487595
50°C - 60°C	*	-0,692857	0,487595

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95,0 % confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Tukey's honestly significant difference (HSD) procedure. With this method, there is a 5,0% risk of calling one or more pairs significantly different when their actual difference equals 0.

ANEXO 6. RMSE

Tiempo	LINEAL	GAB	EXPERIMENTAL	RMSE- GAB	RMSE-LINEAL
1	0,0582	0,0582	0,0582	0,0000000	1,11979E-12
7	0,0921	0,0936	0,0905	9,5324E-06	2,52003E-06
11	0,1047	0,1041	0,0929	0,000125526	0,00013933
15	0,114	0,1117		0,01247689	0,012996
18	0,1194	0,1161		0,01347921	0,01425636
22	0,1248	0,1208	0,1136	5,20455E-05	0,000125759
25	0,1279	0,1236	0,1186	2,53187E-05	8,70819E-05
28	0,1304	0,1259	0,1211	2,32687E-05	8,69326E-05
32	0,1329	0,1285		0,01651225	0,01766241
35	0,1344	0,1301	0,1249	2,7464E-05	9,10232E-05
38	0,1355	0,1314		0,01726596	0,01836025
41	0,1364	0,1326		0,01758276	0,01860496
45	0,1374	0,1339		0,01792921	0,01887876
50	0,1382	0,1352		0,01827904	0,01909924
56	0,1389	0,1364	0,1287	5,97812E-05	0,00010469
64	0,1394	0,1375	0,1312	3,94168E-05	6,68843E-05
70	0,1396	0,1381	0,1338	1,86033E-05	3,37927E-05

ANEXO 7. CALCULOS EFECTUADOS

Cálculo de la Energía de Activación (E_a) y el factor pre-exponencial (k_0)

- $E_a = 1560,2 * R = 1560,2 * 1,987 = 3100,117 \frac{cal}{mol} = 3,10 \frac{Kcal}{mol}$
- $K_0 = e^{2,844} = 17,177$

Cálculo de las constantes de velocidad (k) a las temperaturas de almacenamiento de 45, 23 y 7 °C

- $\ln(k_{45^\circ C}) = -1560,2 * \frac{1}{45+273} + 2,844 = -2,063$

$$k_{45^\circ C} = 0,1271 \text{ s}^{-1}$$

- $\ln(k_{23^\circ C}) = -1560,2 * \frac{1}{23+273} + 2,844 = -2,427$

$$k_{23^\circ C} = 0,0883 \text{ s}^{-1}$$


- $\ln(k_{7^\circ C}) = -1560,2 * \frac{1}{7+273} + 2,844 = -2,729$

$$k_{7^\circ C} = 0,0653 \text{ s}^{-1}$$

Con los datos encontrados y con el límite de aceptabilidad establecidos por la norma se reemplazan en la Ecuación 9 para hallar el tiempo de vida útil a las temperaturas de almacenamiento de 45, 23 y 7 °C.

- $t_{45^\circ C} = \frac{\ln(10) - \ln(1.5)}{0,1271} = 14,926 \text{ semanas} = 3,7 \text{ meses} = 111 \text{ días}$
- $t_{23^\circ C} = \frac{\ln(10) - \ln(1.5)}{0,0883} = 21,494 \text{ semanas} = 5,4 \text{ meses} = 162 \text{ días}$
- $t_{7^\circ C} = \frac{\ln(10) - \ln(1.5)}{0,0653} = 29,048 \text{ semanas} = 7,3 \text{ meses} = 219 \text{ días}$

ANEXO 8. ESPECIFICACIONES DEL ENVASE DE ALMACENAMIENTO



Molino San Miguel E.I.R.L.

AV. BALTA Nº 2661 - JOSÉ L. ORTIZ - CHICLAYO - LAMBAYEQUE - TELEFAX: 074-251717 Email: molino.sanmiguel.eirl@gmail.com

SERIE: 001 Nº 000656

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL PRODUCTO

PRODUCTO : BOLSAS PLÁSTICAS DE POLIETILENO UTOGRAFIADA

PRESENTACIÓN : Bolsa de plástico transparente conteniendo 100 unidades

PROVEEDOR : ENVOLTURAS PERU S.A.C.

Lote del producto : 12122011

TAMAÑO DEL LOTE : 60,000 unidades


TAMAÑO DE LA MUESTRA : 1 Bolsa x 100 unidades

FECHA DE PRODUCCIÓN : 25/01/2013

FECHA DE VENCIMIENTO : 25/01/2015

FECHA DE RECEPCIÓN : 28 de Enero del 2013

RECEPCIÓN DE MUESTRA : Laboratorio de Planta - Molino San Miguel E.I.R.L. - Av. Balta 2661 José L. Ortiz - Chiclayo.



DOCUMENTO DE REFERENCIA

N.T.P. 399.103-1:2004 PARA ACCESORIOS PLÁSTICOS EN CONTACTO CON ALIMENTOS

ESTRUCTURA DEL MATERIAL

MATERIAL	: POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COLOR BLANCO OPACO
ANCHO	: 8"
LARGO	: 12 1/2"
ESPESOR	: 2.5 MILÉSIMAS DE PULGADA

RESULTADO DEL ENSAYO FÍSICO-QUÍMICOS

PROPIEDADES GENERALES	RESULTADO
DENSIDAD	: 0.905 gr/cc a 23 c
ÍNDICE DE FLUIDEZ	: 8 gr/10 minutos
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	: 503 psi
TEMPERATURA DE FUSIÓN	: 329 F

(*) Calculado en base al 15% de humedad

RESULTADO DEL ENSAYO ORGANOLÉPTICO


ANÁLISIS	RESULTADOS	MÉTODO	
Aspecto	Plástico deslizable, suave.	NTP 399.103-1:2004 Accesorios plásticos en contacto con alimentos.	
Color	Blanco con impresión a colores.		
Textura	Suave.		
Olor	A plástico.		
Sabor	Insípido		

CONCLUSIÓN: LA MUESTRA ANALIZADA: BOLSA PLÁSTICA DE POLIETILENO UTOGRAFIADA, ES CONFORME CON EL REQUISITO SOLICITADO, MATERIAL BAJO ESTÁNDARES DE CALIDAD Y CUMPLE CON LOS REQUISITOS DE LA FOOD AND DRUG ADMINISTRATION DE LOS ESTADOS UNIDOS (NORMA AMERICANA PARA ALIMENTOS). TÍTULO 21 CFR SECCIÓN 177.1520 PARA ARTÍCULOS QUE ESTÁN EN CONTACTO CON ALIMENTOS.

MATERIAL IMPRESO CON TINTAS FLEXOGRÁFICAS QUE HACEN REFERENCIA A LA NORMA NTP 399.103-1:2004 PARA "ENVASES Y ACCESORIOS PLÁSTICOS EN CONTACTO CON ALIMENTOS" POR LO CUAL SE CERTIFICA QUE ESTAS TINTAS ESTÁN LIBRES DE MINERALES PESADOS.

ESTOS VALORES SON VERIFICADOS AL MOMENTO DE LA RECEPCIÓN DE LOS INSUMOS.

José L. Ortiz, 04 de Febrero del 2013



ANEXO 9. FOTOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS



Homogenización de las muestras y realización del Método del Cuarteo.



Pesado de muestras.



Sellado de las muestras.



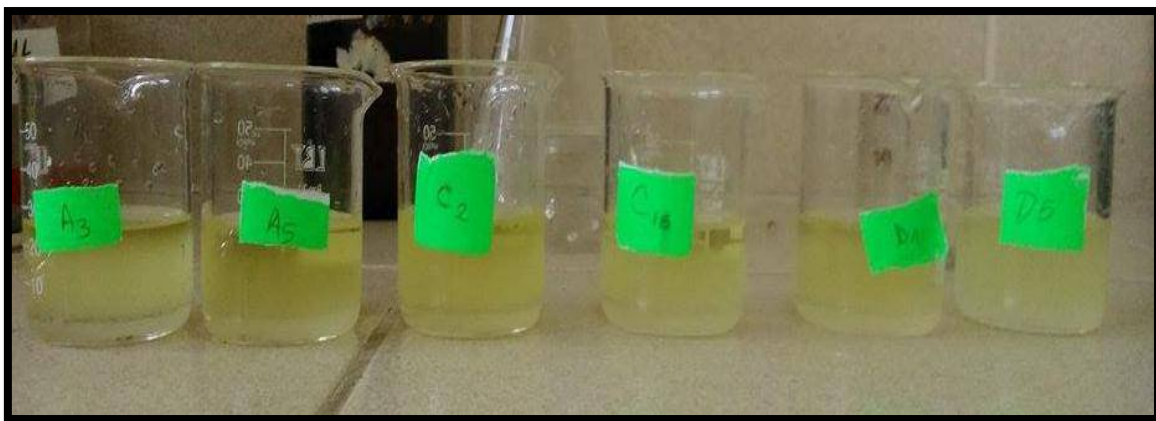
Rotulado de las muestras.



Incubadoras monitoreadas a temperaturas constantes de 30, 40, 50 y 60 °C.



Análisis del Índice de Peróxidos – Filtración de la muestra



Muestras listas para la titulación en la determinación del Índice de Peróxidos.



Agregado del indicador: Almidón, Prueba de Índice de Peróxidos



Viraje de las todas las muestras por el indicador.



Titulación de las muestras.



Análisis del %Humedad – Llevado de capsulas a la estufa.



Llevado de las capsulas al desecador.



Pesado de las muestras.



Estufa a 105 ± 5 °C/2 h. con muestras para el cálculo de la Humedad



Muestras llevadas al desecador