

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio del Efecto de las Condiciones de Envasado y Empacado
en el Tiempo de Vida Útil de Bocaditos de Maíz Estrusados
Almacenados a Temperatura Ambiente”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Marjorie Mercedes Olvera Urgilés

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2006

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser la luz que ilumina mi camino, a mi querida mamá, mi hermano y a todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron en la elaboración de este trabajo, en especial a la MSC Fabiola Cornejo por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A mi mamá, por todo el amor, dedicación y cariño que día a día me brinda. A la memoria de mi papá. A mi hermano. A mi gran amigo, novio y futuro esposo Ricardo R.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TESIS

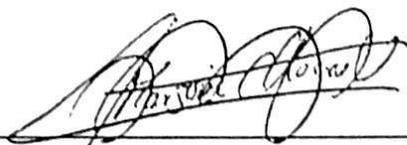


Ing. Andrés Rigail C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Gado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Marjone Mercedes Olvera Urgilés

RESUMEN

Actualmente empresas fabricantes de material de empaque ofrecen un variado rango de propiedades mecánicas, estas propiedades de barrera tienen una influencia directa en la vida útil de los alimentos durante el almacenamiento, distribución o transporte. Los métodos por los cuales el alimento es tratado para maximizar o extender su vida útil, se deposita también en el empaque para su éxito. Por lo tanto, el diseño, las condiciones de empaque y envasado debe ser basado en los requerimientos de los alimentos. Inconscientemente la industria de alimentos desconoce las necesidades de barrera de sus productos.

La calidad de los alimentos es muy importante por ello hoy en día la mayoría de las empresas alimenticias dedican mucha atención al estudio del tiempo de vida útil de los productos. Este tiempo de vida útil es afectada por muchos factores, tales como: las características propias del producto, las condiciones de almacenamiento y el empaque incluyendo el diseño y sus propiedades. Estos factores deben ser considerados como una parte integral de las industrias plástica y alimenticia y no debe tratarse individualmente.

El objetivo de esta tesis propone determinar como es afectado el producto sensorialmente y microbiológicamente durante el almacenamiento,

dependiendo de la forma o manera en la cual este es envasado o empacado utilizando diferentes películas plásticas.

El trabajo comenzara con la determinación de los rangos de actividad de agua adecuado para mantener las características organolépticas del producto mediante un análisis sensorial y microbiológico. A continuación se analizara la cantidad máxima de humedad permitida hasta que el deterioro se desarrolle con la elaboración de isotermas de absorción a diferentes temperaturas de almacenamiento. Luego se predecirá el tiempo de vida útil de los productos envasados con dos tipos de películas plásticas a condiciones de Quito y Guayaquil. Se analizara el efecto del uso de empaque secundario dependiendo del área de empaque versus la cantidad de producto a empacar. Finalmente se evaluara el efecto de apilamiento y almacenamiento en el tiempo de vida útil de bocaditos de maíz estrusados.

Se espera obtener, como resultado de este trabajo, un procedimiento que permita definir los puntos críticos de bocaditos de maíz estrusados y el tiempo de vida útil de cada uno de ellos con respecto a diferentes películas plásticas y condiciones de almacenamiento. Adicionalmente, se analizara el efecto de la forma o manera de empacado y envasado en la vida útil de los alimentos mencionados; de esta manera poder disminuir las devoluciones de los productos en percha

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES	
1.1. Bocaditos de Maíz Estrusados.....	3
1.1.1 Materia Prima.....	4
1.1.2 Elaboración de Bocaditos de Maíz Estrusados.....	5
1.1.3 Características Físicas Requeridas del Producto.....	7
1.1.4 Factores que Intervienen en la Alteración.....	8
1.1.5 Producción y Consumo a Nivel Nacional.....	12
1.2. Agua en los Alimentos.	
1.2.1. Actividad de Agua.....	14
1.2.2. Actividad de Agua y Estabilidad de los Alimentos.....	16

1.2.3. Isotermas de Absorción.....	18
1.3. Empaque para Bocaditos de Maíz Estrusados.....	23
1.3.1. Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua en Empaques Plásticos.....	27

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y METODOS.....	30
2.1. Materia Prima.....	31
2.2. Equipos e Instrumentos Utilizados.....	31
2.3. Determinación de Humedad Crítica.....	32
2.3.1. Isotermas de Absorción.....	32
2.3.2. Evaluación Sensorial.....	35
2.3.3. Procedimientos Microbiológicos.....	37
2.4. Determinación del Coeficiente de Permeabilidad de Vapor de Agua de Películas Plásticas.....	37
2.5. Determinación del Tiempo de Vida Útil.....	42
2.6. Relación del Área de Empaque versus la Cantidad de Producto a Empacar.....	44
2.7. Determinación de la Forma de Apilamiento y Almacenamiento.....	47

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANALISIS.....	51
3.1. Humedad Critica de Bocaditos de Maíz Estrusados.....	51
3.1.1. Isotermas de Absorción de Bocaditos de Maíz Estrusados a Temperaturas de Almacenamiento.....	52
3.1.2. Resultados de Evaluación Sensorial.....	58
3.1.3. Análisis Microbiológico.....	61
3.2. Efecto del tipo de Material de Empaque en el Tiempo de Vida Útil a Temperaturas de Almacenamiento.....	63
3.3. Efecto de la Relación del Área de Empaque versus la Cantidad de Producto a Empacar en el Tiempo de Vida Útil Utilizando Empaque Secundario.....	74
3.4. Efecto de las Condiciones de Almacenamiento en el Tiempo de Vida útil.....	77
3.5. Efecto de la Forma de Apilado en el Tiempo de Vida Útil.....	80

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
--	----

APENDICES

BIBLIOGRAFIA.

ABREVIATURAS

Aw	Actividad de Agua
Xe	Humedad de Equilibrio
PP	Polipropileno
WVTR	Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua
S.A	Sociedad Anónima
P.	Presión de Vapor de la Solución
P ₀	Presión de Vapor del Agua
HRE	Humedad Relativa de Equilibrio.
MC	Contenido de Humedad
MCDS	Contenido de Humedad en Base Seca
Wi	Peso Inicial
We	Peso Final
Ws	Peso del Sólido
Mi	Humedad Inicial
Me	Humedad de Equilibrio
Mc	Humedad Crítica
Ss	Sólidos Secos

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Cambios de Materia Prima en el Proceso de Cocción por Extrusión.....	4
Figura 1.2	Diagrama de Bloques para Elaboración de Productos Estrusados.....	6
Figura 1.3	Relación entre la Actividad de Agua vs Estabilidad de los Alimentos.....	17
Figura 1.4	Isoterma de Absorción Típica con Diferente Tipos de Agua.....	21
Figura 2.1	Sistema para Saturación de las Muestras.....	33
Figura 2.2	Muestras Almacenadas para Elaboración de las Isotermas.....	33
Figura 2.3.	Dimensiones de las Fundas Plásticas Empleadas en la determinación del Coeficiente de Permeabilidad de Vapor e agua.....	39
Figura 2.4	Sistema para la Determinación de Tiempo de Vida Útil del Producto.....	42
Figura 2.5	Empaque Secundario.....	45
Figura 2.6	Dimensiones de Fundas Plásticas Empleadas como Empaque para cada Volumen de Producto a Empacar.....	46
Figura 2.7	Dimensiones de Caja de Cartón Empleada como Empaque Secundario.....	47
Figura 2.8	Apilamiento de los Productos.....	48
Figura 2.9	Dimensiones de la funda Plástica Empleada en el Apilamiento de Cachito y Tostito.....	49
Figura 2.10	Numeración y Colocación de Fundas en Apilamiento.....	50
Figura 3.1	Isoterma de absorción del Cachito a Condiciones Ambientales de Quito y Guayaquil.....	53
Figura 3.2	Isoterma de absorción del Tostito a Condiciones Ambientales de Quito y Guayaquil.....	53
Figura 3.3	Isoterma de absorción del Cereal a Condiciones Ambientales de Quito y Guayaquil.....	54
Figura 3.4	Recuento de Aerobios Mesófilos de los Productos.....	61
Figura 3.5	Recuento de Aerobios Mesófilos de los Productos.....	61
Figura 3.6	Ganancia de Humedad del Cachito Almacenado a Condiciones de Quito y Guayaquil.....	66
Figura 3.7	Ganancia de Humedad del Tostito Almacenado a Condiciones de Quito y Guayaquil.....	66
Figura 3.8	Ganancia de Humedad del Cereal Almacenado a Condiciones de Quito y Guayaquil.....	68

Figura 3.9	Humedad no completada del Cachito a Condiciones Ambientales de Guayaquil empleando Plástico A y B.....	70
Figura 3.10	Humedad no completada del Cachito a Condiciones Ambientales de Quito empleando Plástico A y B.....	70
Figura 3.11	Humedad no completada del Tostito a Condiciones Ambientales de Guayaquil empleando Plástico A y B.....	71
Figura 3.12	Humedad no completada del Tostito a Condiciones Ambientales de Quito empleando Plástico A y B.....	71
Figura 3.13	Humedad no completada del Cereal a Condiciones Ambientales de Guayaquil empleando Plástico A y B.....	72
Figura 3.14	Humedad no completada del Cereal a Condiciones Ambientales de Quito empleando Plástico A y B.....	72
Figura 3.15	Humedad no Completada de cada uno de los Volúmenes de Cereal Empacados a 32°C.....	76
Figura 3.16	Humedad no completada del Cachito Empacado con Película Plástica A en Condiciones Ambientales de Quito Y Guayaquil	78
Figura 3.17	Humedad no completada del Tostito Empacado con Película Plástica A en Condiciones Ambientales de Quito Y Guayaquil	78
Figura 3.18	Humedad no completada del Cereal Empacado con Película Plástica A en Condiciones Ambientales de Quito Y Guayaquil	79

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Característica Físicas de los Productos Empleados.....	31
Tabla 2	Contenido de Humedad Inicial de los Productos.....	52
Tabla 3	Valores de Monocapa y de Actividad de agua de los Productos.....	55
Tabla 4	Humedad de Equilibrio de los Productos Almacenados a Temperatura Ambiente.....	57
Tabla 5	Resultados otorgados por los Jueces en la Prueba de Escala Hedónica.....	59
Tabla 6	Resultados otorgados por los Jueces en la Prueba de Comparaciones Múltiples.....	60
Tabla 7	Contenido de Humedad Crítica de los Productos.....	61
Tabla 8	Cantidad de Producto colocado en Empaque elaborado con Película Plástica A y B.....	64
Tabla 9	Dimensiones de Fundas Plásticas usadas en la Determinación del Coeficiente de permeabilidad de vapor de Agua.....	64
Tabla 10	Coeficiente de Permeabilidad de Vapor e Agua de las Películas Plásticas.....	65
Tabla 11	Tiempo de Vida Útil de los Productos Usando diferentes tipos de Película Plástica.....	69
Tabla 12	Estimación del Tiempo de Vida Útil de los Productos Empleando dos Tipos de Películas Plásticas y Almacenadas a Temperatura Ambiente.....	73
Tabla 13	Cantidad de Producto a Colocar dentro de cada Funda Plástica Dependiendo del Volumen de Empaque.....	74
Tabla 14	Permeabilidad de la Película Plástica Empleada como Empaque de Producto en Diferente Volumen Empacado.....	75
Tabla 15	Dimensiones de las Fundas Plásticas para cada uno de los Volúmenes a Empacar en la Determinación del Tiempo de vida Útil.....	75
Tabla 16	Tiempo de Vida Útil Dependiendo de la Cantidad de Volumen a Empacar.....	76
Tabla 17	Tiempo de Vida Útil de los Productos Dependiendo de las Condiciones de Almacenamiento.....	79

Tabla 18	Cantidad de Producto a Colocar dentro de cada Funda Plástica Dependiendo de la Forma de Apilamiento.....	80
Tabla 19	Tiempo de Vida Útil del Tostito dependiendo de la Posición que se encuentra en el Apilamiento.....	81
Tabla 20	Tiempo de Vida Útil del Cachito dependiendo de la Posición que se encuentra en el Apilamiento.....	81

INTRODUCCION

La calidad de los alimentos es muy importante por ello hoy en día la mayoría de las empresas alimenticias dedican mucha atención al estudio del tiempo de vida en anaquel de los productos. Los productos estrusados presentan características muy específicas como son la baja densidad, higroscopicidad, textural suaves y crujientes, siendo esta ultima la que lo define ante el consumidor.

Actualmente empresas fabricantes de material de empaque ofrecen un variado rango de propiedades mecánicas, estas propiedades de barrera tienen una influencia directa en la vida útil de los alimentos durante el almacenamiento, distribución o transporte. Los métodos por los cuales el alimento es tratado para maximizar o extender su vida útil, se deposita también en el empaque para su éxito. Por lo tanto, el diseño, las condiciones de empaque y envasado debe ser basado en los requerimientos de los alimentos y la industria de alimentos erróneamente desconoce las necesidades de barrera de cada alimento.

Los productos alimenticios con bajo contenido de agua envasado en materiales flexibles, como lo son los bocaditos de maíz, al almacenarse en localidades con alta humedad tienden a ganar agua debido a la transferencia

de esta a través del envase es por ello que cuando los alimentos son expuestos a atmósferas húmedas, ellos absorben humedad y cuando son ubicados en atmósferas secas estos pierden humedad. De esta manera un producto comercializado en Guayaquil, no tiene el mismo tiempo de vida útil de un producto comercializado en Quito debido a que las humedades relativas del ambiente y sus temperaturas hacen que los requerimientos de empaque para cada una de estas ciudades sea diferente. Durante el almacenamiento los bocaditos de maíz envasados en materiales flexibles van perdiendo su crujencia debido a la ganancia de humedad del producto hasta un límite, a partir del cual el producto es rechazado por el consumidor.

Al valor de actividad de agua y de humedad en este límite se los conoce como críticos. Si podemos determinar el contenido de humedad crítica será posible estimar el tiempo de vida útil de los productos monitoreando los cambios de contenido de humedad del producto. Las isotermas de absorción permiten relacionar la actividad de agua de un determinado alimento con su humedad. Por lo tanto el objetivo de este trabajo propone determinar como es afectado el producto sensorialmente y microbiológicamente durante el almacenamiento, dependiendo de la forma o manera en la cual este es envasado o empacado utilizando diferentes películas plásticas.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Bocaditos de Maíz Estrusados.

Los bocaditos de maíz cubren un amplio rango dentro de los productos alimenticios, estos son consumidos como comidas ligeras o son parcialmente reemplazados a comidas regulares, frecuentemente se los consume en el hogares, fiestas, viajes o en algún otro tipo de entretenimiento. El rango general de los bocaditos de maíz incluye productos como golosinas, cereales, tortillas y productos laminados de diferentes colores, formas y texturas (1).

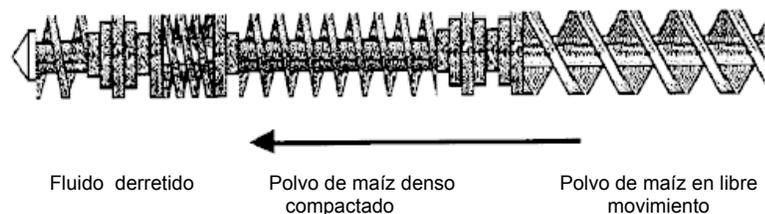
1.1.1 Materia Prima.

Existen muchas variaciones en la manera de elaboración de los bocaditos de maíz, pero el principal proceso que se emplea es a través de la cocción por extrusión (1).

La extrusión consiste básicamente en comprimir los alimentos hasta conseguir una masa semisólida, que después pasa por una pequeña abertura, que permite obtener una gran variedad de texturas, formas y colores a partir de un ingrediente inicial, (1). Los cambios que presentan las materias primas dentro del extrusor lo podemos observar en la (figura 1.1)

FIGURA 1.1

CAMBIOS DE MATERIA PRIMA EN EL PROCESO DE COCCION POR EXTRUSION



FUENTE: Extrusion Cooking (1)

La máquina extrusora consiste en una fuente de energía, que acciona el tornillo principal, un alimentador para dosificar los ingredientes crudos y una espiga que rodea al tornillo. Este último empuja los ingredientes hacia una abertura con una forma determinada, la boquilla o troquel que determinará la forma del producto.

1.1.2 Elaboración de productos estrusados

El proceso de elaboración de productos estrusados se muestra en la figura 1.2

Estructuras obtenibles mediante proceso de extrusión

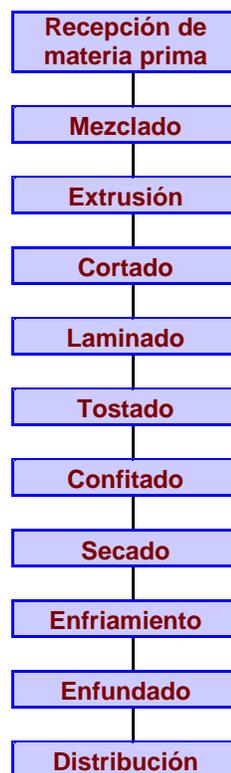
Sin tomar en cuenta los diferentes tipos de extrusores a disposición en el mercado, es posible obtener una gran variedad de estructuras y texturas a través del proceso de extrusión (3):

- **Fibrosa:** Se pueden hacer productos parecidos a la carne utilizando el campo cizallante de la extrusión para transformar la proteína vegetal en una estructura lineal similar a la de la carne.

- **Dura:** Se pueden hacer dulces utilizando un extrusor como un intercambiador de calor.
- **Quebradiza:** Pastas para sopa, las cuales reciben un tratamiento de texturización posterior con agua, para su consumo.

FIGURA 1.2

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EXTRUSADOS



Fuente: Tesis Tecnología (2)

- **Suave, Humado:** Productos que frecuentemente se hacen mediante extrusión. También conocidos como “crispbread”, se caracterizan por la suavidad, como son los bocaditos sustitutos del pan
- **Desmoronable:** Con este término se entiende productos que, luego de la extrusión son sometidos a una molienda para transformarla en harina teniendo:
 1. Estructuras migajosas (galletas)
 2. Estructuras quebradizas: cereales, botanas, chitos.

1.1.3 Características físicas requeridas del producto

Existen dos principales requerimientos de los productos (1); estos son:

- Requerimientos del consumidor (sabor, color, textura, tamaño, forma, densidad de la masa y seguridad microbiológica).
- Requerimientos regulatorios (peso del producto en el empaque, composición y exigencias nutricionales).

1.1.4 Factores que intervienen en la alteración

Lo bocaditos de maíz se ven alterados por una serie de factores ambientales: tal como la temperatura, la humedad, el aire mas particularmente el oxigeno, la luz y el tiempo puesto que todas las causas de degradación de los alimentos progresan con el tiempo y una vez sobrepasado el periodo transitorio en la cual la calidad del alimento esta al máximo y cuanto mayor sea el tiempo transcurrido mayor, serán las influencias destructoras.

Efectos de la temperatura: Independientemente de su efecto sobre los microorganismos el calor no controlado puede causar el deterioro, dentro de la escala que se manejan estos productos que es de 15 a 32°C, por cada aumento de 10°C se duplica aproximadamente la velocidad de las reacciones químicas.

Efectos de la humedad: Los bocaditos de maíz son muy sensibles a la presencia de agua física en su superficie, que es producida por la condensación debido a los cambios de temperatura, esta condensación puede producirse dentro del empaque durante su almacenamiento La principal alteración

que provoca el agua en estos productos es el ablandamiento (perdida de textura,) así como también en condiciones extremas de humedad provoca la oxidación de las grasas, degradación de las vitaminas (particularmente las vitaminas A, B1, B2), pérdida de color, sabor y junto con ello la aparición de microorganismos, ya que basta una pequeña cantidad de condensación en la superficie de los productos para permitir la proliferación de bacterias o el desarrollo de mohos.

Efectos del Oxígeno: Además de los efectos que tiene el oxígeno sobre el desarrollo de los microorganismos, sobre los colores y sobre los sabores el oxígeno disminuye el valor nutritivo de los productos a través de las reacciones de oxidación (grasa), produciendo efectos variables como es la generación de hidroperóxidos y peróxidos que a su vez oxidan las vitaminas (Tiamina, biotina, B12, B6, D) esto se produce ya sea dependiendo de la naturaleza de las grasas y de su estado.

Efectos de la luz: La luz es la responsable de la destrucción de algunas vitaminas (Riboflavina, ácido fólico, A, E y C), acelera la oxidación de las grasas, ocasiona cambios

nutricionales en los productos y además puede deteriorar los colores en muchos de los productos.

Principales causas de alteración de los productos

Los bocaditos de maíz estrusados son principalmente carbohidratos pero contienen cantidades considerables de proteínas y bajos contenidos de grasas, principalmente insaturadas (8). El principal carbohidrato de los cereales es el almidón seguido de la celulosa y los azúcares. Estos son los responsables de la estabilidad de los mismos ya que dependiendo de sus velocidades de degradación se reportarían tiempos de estabilidad de dichos productos (9). Las principales causas de alteración los productos son aquellas de naturaleza física, química y biológica.

Las causas físicas pueden aparecer durante la manipulación, preparación o conservación de los productos y, en general no perjudican, por sí solas, a la comestibilidad de los productos, pero sí a su valor comercial. En general los bocaditos de maíz tienden a ser muy susceptibles durante la manipulación, estos tienden fácilmente a dañar sus formas y texturas sino se lleva un adecuado control durante su manipulación.

Por otro lado dentro de las causas químicas la que mayormente afecta a los bocaditos de maíz es el enranciamiento de las grasa (8), ya que gran parte de las grasas y los aceites son susceptibles a diferentes reacciones de deterioro que reducen el valor nutritivo de los productos y además forman compuestos volátiles que producen olores y sabores desagradables, el grado de deterioro va a depender del tipo de grasa, siendo los mas susceptibles a estos cambios aquellos que sean de origen marino seguidos por los aceites vegetales y finalmente por las grasa animales.

Finalmente las causas biológicas que afectan a estos productos son las microbiológicas tomando en cuenta que estos productos poseen una baja actividad de agua como se mencionó anteriormente estos producto pueden verse afectados por bacterias como son los mohos y las levaduras. La mayoría de los mohos se desarrolla a temperaturas entre los 15 y 30 °C, pueden crecer a actividades de agua menor que 0.70 y resistir temperaturas muy bajas (10) es por ello que los bocaditos de maíz pueden verse afectados por este tipo de microorganismos. Las modificaciones químicas

producidas en los productos por los mohos pueden ocasionar alteraciones en el valor nutritivo o en sus características organolépticas. Por otro lado con respecto a las levaduras estas de igual manera se desarrollan a condiciones similares a las de los mohos (5-37°C) ocasionando cambios indeseables en los productos, pero las levaduras no representan un riesgo para la salud

1.1.5 Producción y consumo a nivel Nacional

De la industria nacional de alimentos el sector de cereales y derivados, molinería y panadería, es el único cuya producción depende casi exclusivamente de materias primas importadas. Por esta razón su competitividad interna depende esencialmente de los sobrecostos que impone el régimen de franja de precios sobre las importaciones de trigo, la producción nacional de cereales (tipo desayuno) es casi inexistente y la oferta está dada por productos importados de distintos orígenes (11).

Las exportaciones del sector de cereales y derivados, molinería, y panadería han decrecido a una tasa promedio anual del 23.6%. Esta caída se debe, principalmente, al

decrecimiento en las exportaciones de dos productos específicos: maíz y arroz. En lo referente al destino de las exportaciones de esta rama, se puede decir que éstas se encuentran altamente concentradas en un único mercado que es el colombiano. De hecho, del total de exportaciones sector cereal y derivados, molinería y panadería, el 90.2% se dirigen a Colombia. En buena parte, esta concentración de las exportaciones del sector en general se explica por la altísima concentración de las ventas de sus dos principales productos: arroz y maíz (11)

Actualmente en el Ecuador empresas que elaboran y producen alimentos estrusados en mayor cantidad son las siguientes:

- COMPAÑÍA DE CEREALES NACIONALES S.A
(Guayaquil)
- ECUAMAIZ C. LTDA. (Guayaquil)
- INALECSA (Guayaquil)
- GRUPO MODERNA - MODERNA ALIMENTOS (Quito)
- KRAFT FOODS ECUADOR S.A (Quito)

1.2 Agua en los Alimentos

1.2.1 Actividad de agua

La cantidad del agua en un alimento no es suficiente para conocer la estabilidad de los mismos ya que existen alimentos que contienen gran cantidad de agua y no se alteran mientras otros que con menos cantidad sí. Por esta razón surge el concepto de actividad de agua que permite determinar la mayor o menor disponibilidad del agua en los diversos alimentos para que se produzcan las diferentes reacciones de degradación en los mismos.

La actividad del agua es un factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos, donde se la define como la relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor de agua líquida pura a la misma temperatura (12), se la define a través de la siguiente fórmula:

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

Donde:

P= Presión de vapor de la solución

P₀ = presión de vapor del agua

Los alimentos que se someten a congelación van a tener la misma actividad de agua indiferentemente de la composición del alimento. Hay algunos alimentos en los que la actividad de agua es tan baja que no varía al congelarlos porque no puede bajar más.

La actividad de agua también puede ser expresada como la Humedad Relativa de Equilibrio (HRE) cuando se la divide para 100:

$$a_w = \frac{\text{HRE}}{100}$$

La actividad de agua se relaciona con la humedad relativa en el equilibrio (HRE) que es la humedad de la atmósfera que rodea al agua, es decir, es la humedad a la cual se igualan: la humedad del alimento con la humedad del aire ambiente.

$$\text{HRE} = \frac{P_{\text{agua}}}{P_{\text{aire}}}$$

Si cerramos un alimento en cámara hermética, la atmósfera que lo rodea tendrá tras un tiempo la misma humedad que el alimento

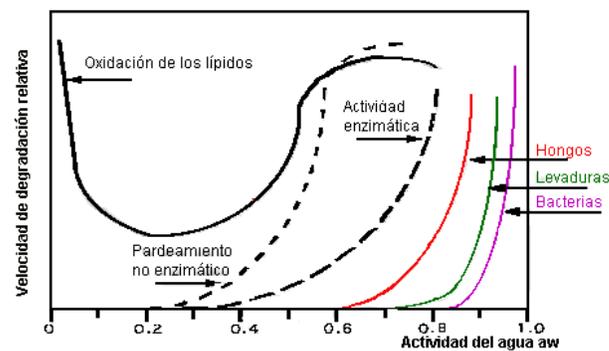
1.2.2 Actividad de agua y estabilidad de los alimentos

La calidad de los alimentos no solamente depende de la composición inicial sino que también depende: del procesamiento, almacenamiento y distribución de los mismos, muchos de estos cambios son afectados por el contenido de agua y por el estado del agua en los alimentos (13). De lo dicho hasta ahora, está claro que la estabilidad de los alimentos y la actividad de agua están estrechamente relacionadas en muchas (aunque no todas) situaciones. En la figura 1.3 podemos observar ejemplos de relaciones típicas de velocidad de reacciones con respecto a la actividad de agua. Las velocidades de reacción, las posiciones y formas de las curvas pueden ser alteradas por la composición, estado físico y estructura de la muestra, por la composición de la atmósfera y por la temperatura (14).

En la relación oxidación de los lípidos- a_w , es evidente observar que comenzando a valores de a_w muy bajos la velocidad de oxidación disminuye a medida que se añade agua hasta un valor a_w próximo al límite del agua de la monocapa y multicapa de la isoterma. La posterior adición de

agua determina un incremento de las velocidades de oxidación hasta alcanzar un valor A_w próximo al límite del agua de la monocapa y multicapa. (14). Las curvas correspondiente a pardeamiento no enzimático, actividad enzimática y crecimiento microbiano tienen todas las máximas velocidades de reacción a valores de a_w intermedios o altos (1.2).

FIGURA 1.3
RELACION ENTRE ACTIVIDAD DE AGUA VS ESTABILIDAD DE LOS ALIMENTOS



Fuente: Química de los alimentos (13)

En las reacciones químicas mostradas en la figura 1.3 las mayores o máximas velocidades ocurren típicamente en el rango de alimentos de humedad intermedia (0,7 -0, 9 a_w), lo que es claramente indeseable (14).

1.2.3 Isotermas de Absorción

El conocimiento de las isotermas de absorción de alimentos es de gran importancia para el desarrollo en la industria alimenticia, ya que brinda información útil para la optimización de procesos de secado, determinación de la humedad crítica, selección de material de empaque, actividad de agua para la aceptabilidad de productos que se deterioran por ganancia de humedad y para la predicción de tiempo de vida útil del producto (15).

Las isotermas de absorción muestran la relación entre la actividad del agua (a_w) y la humedad de equilibrio (X_e) contenida en un producto alimenticio a una temperatura y presión constante (16). Esta relación ha sido ampliamente estudiada de manera que se pueda lograr una descripción matemática del proceso y es así que han propuesto diversas ecuaciones, entre las que encontramos:

- El modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET) que presenta un rango limitado de aplicabilidad de hasta un a_w de 0.3-0.4 (17)

- El modelo de Gugenheim, Anderson y De Boer (GAB) propuesto por Van Den Berg con un rango de aplicabilidad de 0.1 a 0.9 de a_w (18).
- El modelo propuesto por Ferro Montan y Col con un rango de aplicabilidad equivalente al de GAB , entre otros

La utilidad un modelo dependerá en mayor grado de los objetivos que tenga el investigador ya que si se requiere determinar el tiempo de vida útil del producto se debe considerar aquel modelo que mejor se ajuste a los datos experimentales, otro factor importante es la simplicidad del mismo, ya que aquel que posea un menor número de parámetros requerirá menor tiempo para ser procesado y respectivamente analizado (32).

En los últimos años el modelo de GAB ha sido ampliamente utilizado para la descripción de isothermas de absorción de diversos alimentos. La isoterma de GAB y ha sido satisfactoriamente probada en datos de adsorción de gases, como en absorción de vapor soluciones altamente concentradas de electrolitos, alimentos, proteínas y otros materiales (19); esto es principalmente a la gran precisión que

presenta y a la validez que tiene sobre un amplio rango de actividad de agua desde 0.1 hasta 0.9. (13). La isoterma de GAB fue descrita de la siguiente manera:

$$f = (a \cdot c \cdot x) / ((1 - (k \cdot x)) \cdot (1 - (k \cdot x) + (c \cdot k \cdot x))) \dots\dots(1)$$

Donde:

X= Actividad de agua; (%HR/ 100);

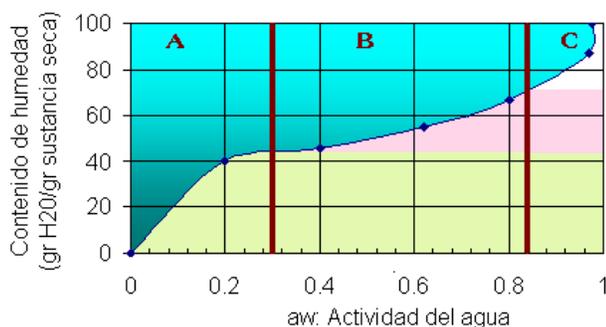
a= Contenido de agua en la monocapa (teoría BET);

c= Constante de Guggenheim;

K= Factor de corrección para las propiedades de las moléculas de la multicapas con respecto al bulbo líquido.

En la figura 1.4 podemos observar una típica isoterma de absorción para un rango de baja humedad de un alimento, la cual esta dividida en tres zonas, estas zonas lo que nos esta indicando son los diferentes tipos de agua que se encuentran presente en los alimento.

FIGURA 1. 4
ISOTERMA DE ABSORCIÓN TÍPICA CON DIFERENTES
TIPOS DE AGUA



Fuente: El agua (20)

Zona A o agua de la monocapa: esta zona representa una cantidad de agua muy pequeña en el alimento. Está muy fuertemente unida a los solutos del alimento, a los grupos polares, aminos y ácidos. Esta agua no puede intervenir en reacciones como disolvente, tampoco se congela y es difícil de eliminar en deshidratación. El agua e la zona A constituye una fracción muy pequeña del agua total de un producto alimenticio de alta humedad (14). Los valores de la monocapa para la mayor parte de los alimentos se hallan en un intervalo de 3 a 10 gramos de agua por cada 100 gramos de sustancia seca y entre 0.15 y 0.30 de actividad de agua.

Zona B o agua de la multicapa: El agua de la zona B ocupa los restantes sitios de la primera capa y varias capas adicionales en torno a los grupos hidrofilitos del sólido, designándose agua multicapa. Esta agua está menos retenida que la anterior pero solo es una parte deshidratable y podría iniciar solo en parte reacciones químicas como solvente ya que forma capas de hidratación. Los valores de la multicapa se hallan en valores de 0.2 a 0.5 de actividad de agua

Zona C o agua libre: El agua de la zona C es el agua menos fuertemente ligada y más móvil de los alimentos. Esta agua no está unida fuertemente sino que se une por fuerzas de capilaridad. Está disponible como solvente y para el desarrollo de microorganismos es la que se congela y la que se elimina al deshidratar. Puede eliminarse en forma relativamente fácil en los procesos de secado ya que no está unida fuertemente sino que se une por fuerzas de capilaridad. Participa en las reacciones de deterioración o puede evitarlas al separar a los reactantes. En todos los restantes aspectos esta agua tiene propiedades similares a las del agua de una solución salina diluida y normalmente asciende

a más del 95 % del agua total de un producto alimenticio de alta humedad (14).

1.3 Empaque para bocaditos de maíz estrusados

El principal factor que causa la pérdida en la calidad de estos productos es la ganancia de humedad, por lo tanto se requiere que los empaques tenga una alta propiedad de barrera contra la humedad. Típicamente el empaque que se emplea especialmente para los cereales son las cajas de cartón con papel encerado para evitar la penetración de la humedad. Para los grits de maíz el empaque debe ser capaz de prevenir el desarrollo de olores rancios. Las fundas de polietileno son ampliamente usadas dentro de esta línea de productos y para aquellos alimentos que contengan altos contenidos de azúcar se emplea láminas de aluminio.

El empaque es una parte integral de los procesos alimenticios, llevando a cabo dos funciones importantes dentro de la industria: primera, protege la vida en anaquel de los productos y la segunda atrae la atención de los consumidores en los sitios de venta. El material de empaque intacto constituye una barrera para los microorganismos, pero los sellos son una fuente potencial de contaminación.

Existe una gran variedad de plásticos requeridos por la industria alimentaria, las nuevas tecnologías de películas para empaque proveen de opciones a los empresarios para alargar la vida de anaquel de los productos. Las nuevas estructuras de película ayudan a optimizar la presentación en los anaqueles de las tiendas, y los laminados y cubiertas ofrecen avances en la calidad de sellado e impresión. Las películas plásticas ofrecen un variado rango de propiedades mecánicas y permeabilidades al vapor de agua, gases y otros remanentes (21), es por ello que los envases constituyen una barrera entre el alimento y el ambiente.

El vapor de agua o los gases son capaces de atravesar los materiales de empaque pasando por poros microscópicos o por medio de difusión activa originada por gradientes de concentración. La permeabilidad de los gases o el vapor para una difusión se puede calcular utilizando la ley de difusión de Fick.

Coefficiente de permeabilidad de vapor de agua de las películas plásticas.

Existen muchos diferentes métodos para determinar las propiedades de permeabilidad de los materiales plásticos, los más comúnmente usados son los métodos isotástico y el quasi-isotástico. El método

isotástico incluye técnicas de flujo continuo, plato, taza gravimétrico y técnicas basadas en la elaboración de bolsas pequeñas echas de materiales flexibles (22).

El coeficiente de permeabilidad determina cuan rápido o lento el vapor de agua puede penetrar a través de las películas plásticas, correspondientemente esto afecta la vida en anaquel del los productos (22) y se define como el producto del coeficiente de difusividad por la solubilidad que expresa la cantidad de gas que atraviesa una unidad de grosor de película por unidad de área superficial de empaque y por unidad de diferencia de presión entre el ambiente y el material envasado. El coeficiente de vapor de agua de los polímeros depende de varios factores tal como la temperatura y la humedad relativa (22).

Propiedades de barrera de las películas

Entendiéndose por propiedades de barrera a toda aquella resistencia a la absorción, difusión y desorción de un gas, humedad, sabor o aroma a través de un material (9). Las propiedades de barrera tienen una influencia directa en la vida útil de los alimentos durante el almacenamiento o transporte (7). La elección entre polipropileno (PP), polipropileno orientado (PPO), polipropileno de

alta densidad (PEAD) o película de capas múltiples depende de muchos factores y requisitos que estas deben de presentar, como son:

a) Buenas propiedades químicas y fisiológicas: neutralidad de olor y sabor, limitación en el contenido de sustancias solubles o extraíbles, resistencia al ataque químicos del producto, resistencia al ataque químicos del ambiente, propiedades bacteriológicas de acuerdo al uso final, duración sanitaria.

b) Buenas propiedades mecánicas: resistencia a la tensión., resistencia al impacto, resistencia al rasgado, elongación, coeficientes de fricción, rigidez, estabilidad dimensional.

c) Buenas propiedades Ópticas: brillo, opacidad y transparencia.

d) Buenas propiedades de Barrera: gases y vapores, aromas y sabores, radiación

Otras propiedades que buscan los industriales en las películas para empaque van desde la resistencia a la punción hasta facilidad de apertura y, desde el que sean atractivas a la vista hasta que presenten evidencia de integridad. Facilidad de ser impresas muy claramente es otra propiedad deseada.

1.3.1 Velocidad de transmisión de vapor de agua

La velocidad de transmisión del vapor de agua, la permeación del vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua describen las características de transmisión de vapor de agua de la película

La velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR) se define como el gramo de vapor de agua transmitido desde 1 m² de área de película en 24 horas, esta definido por la siguiente ecuación:

$$WVTR = \frac{24 * m}{t * A}$$

Donde m = es la ganancia o pérdida de masa en gramos, t = al tiempo en horas y A= al área superficial de la película en m².

La permeación del vapor de agua se define como el gramo de vapor de agua transmitido a través de 1 m² de área de película en 24 horas cuando se mantiene una diferencia de presión de vapor de 1 mm de mercurio (37), esta definido por la siguiente ecuación:

$$\text{Permeación del vapor de agua} = \frac{WVTR}{(P_1 - P_2)}$$

Donde P_1 y P_2 son las humedades relativas a cada lado de la muestra de la película.

La permeabilidad al vapor de agua se define como un gamo de vapor que pasa a través de 1 m² de área de película en 24 horas cuando la diferencia de presión de vapor es 1 mm de mercurio y el espesor de la película es 1 cm, esta definido por la siguiente ecuación:

$$\text{Permeabilidad al vapor de agua} = \frac{\text{Permeación del vapor de agua}}{\text{Espesor de la película}}$$

Vida en anaquel del los productos

La vida en anaquel de los alimentos empacados las regulan las propiedades de los alimentos como es la actividad de agua, pH, susceptibilidad al deterioro enzimático y microbiológico, así como las propiedades de barrera del envase al oxígeno, la luz, la humedad y el bióxido de carbono, por lo tanto el primer paso en la estimación de la vida en anaquel es determinar los parámetros que controlan la pérdida de calida en los productos. Para determinar la conducta de los productos, a estos se los debería almacenar

en condiciones conocidas por un periodo de tiempo para de esta manera poder medir sus propiedades.

La pérdida o la ganancia de humedad es uno de los factores más importantes que controla la vida en anaquel de los alimentos. Los cambios en el contenido de humedad dependen de la velocidad de transmisión de vapor del agua del envase. Para controlar el contenido de humedad del alimento dentro de un envase, deben seleccionarse la permeabilidad al vapor del agua del material de empaque, así como el área superficial y el espesor de este, tomando en cuenta el almacenamiento que se requiere o la duración de la vida en anaquel.

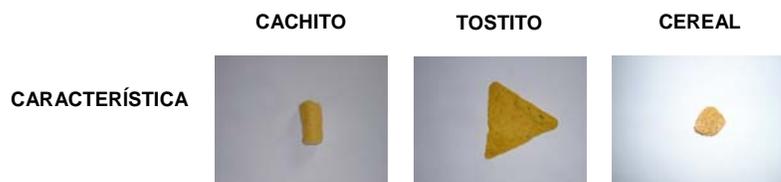
CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Materia Prima

Los productos utilizados para los diferentes análisis realizados fueron adquiridos en locales comerciales, teniendo cada uno de ellos diferentes especificaciones. La tabla 1 muestra las características físicas de cada uno de los productos que se emplearon en las diferentes pruebas realizadas en este estudio.

Cuando se procedió a realizar cada experimento es cuando se adquirió la materia prima, de tal manera que estuviesen los productos los más frescos posibles.

TABLA 1**CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS PRODUCTO EMPLEADOS**

Tamaño	20mm - 35mm	120mm ² - 280mm ²	12mm - 20mm
Forma	Cilíndrica	Triangular	Ovalado
Color	Amarillo	Amarillo	Dorados
Sabor	Salado	Salado	Natural
Textura	Crujiente	Crujiente	Crujiente
Tiempo de vida útil	2 meses	6 meses	9 meses

2.2 Equipos e Instrumentos Utilizados

- Estufa
- Refrigeradora
- Balanza Analítica
- Higrómetro
- Termómetro
- Mortero

2.3 Determinación de Humedad Crítica.

El primer paso que se debe hacer antes de determinar la humedad crítica es, determinar el contenido de humedad de cada uno de los productos, esto se lo realizó conforme lo indica el procedimiento de las norma INEN (NTE 1235: 1987 Pág. 122, 1462:98 Pág. 122.

2.3.1 Isotermas de Adsorción

Las isotermas de adsorción fueron determinadas gravimétricamente, primeramente consistió en pesar de 2 a 4 gramos de producto en un porta muestra suspendido dentro de un sistema como se muestra en la figura 2.1 el producto fue previamente secado y triturado. La determinación se realizó por duplicado. En cada bandeja la humedad relativa se mantuvo a un valor constante conocido mediante soluciones saturadas de determinadas sales a temperaturas de 15 y 23°C (ver apéndice A). Cada bandeja contenía aproximadamente 25-35 ml de solución saturada de sal.

Las muestras se mantuvieron en una estufa a la temperatura de 32°C y en la refrigeradora para las de temperatura de 15°C como lo muestra la figura 2.2. Se determinó periódicamente

mediante pesadas analíticas la ganancia de humedad hasta alcanzar el equilibrio.

FIGURA 2.1

SISTEMA PARA SATURACION DE LAS MUESTRAS

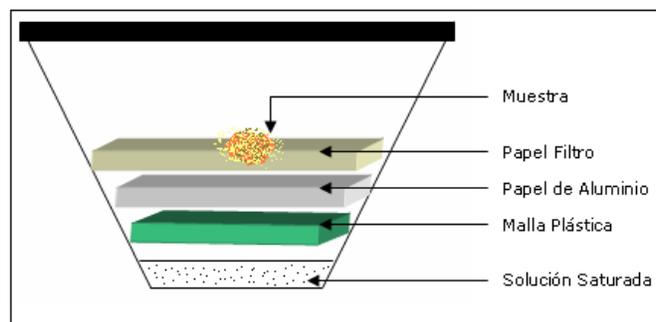


FIGURA 2.2

MUESTRAS ALMACENADAS PARA ELABORACION DE LAS ISOTERMAS



Estufa 32°C



Refrigeradora 15°C

Los valores medidos de ganancia de humedad en base seca correspondiente a cada porcentaje de humedad relativa ($a_w = HRE/100$) se graficaron contra el tiempo mediante el uso de la ecuación 2.

$$MCDS = \frac{MC}{100 - MC} \dots\dots(2)$$

Teniendo:

$$MC = \frac{H_2O \text{ ganada} + (W_i * M_i)}{W_e} \dots\dots(3)$$

$$H_2O \text{ ganada} = (W_e - W_i) \dots\dots(4)$$

Donde:

MCDS= Contenido de humedad del producto en base seca, g/100g ss.

MC= Contenido de humedad del producto

W_i = Peso inicial del producto, gramos

W_e = Peso final o de equilibrio del producto, gramos

M_i = Contenido de humedad inicial del producto (base seca), gramos

Anteriormente, se menciono la existencia de diferentes modelos matemáticos que son empleados en ajuste de las isotermas de absorción. Para este trabajo, el modelo empleado fue el de GAB analizado mediante un software denominado ORIGIN 6 Profesional, el cual permitirá un ajuste más preciso y efectivo.

2.3.2 Evaluación Sensorial:

La evaluación sensorial se realizo mediante un panel de 25 personas entrenadas, los cuales llevaron a cabo una descripción cualitativa de los bocaditos de maíz mediante la elaboración de hojas de evaluación con los atributos que pueden variar durante el almacenamiento. Los cuestionarios de evaluación se muestran en el apéndice D.

Se emplearon escalas hedónicas y pruebas de comparación múltiple. La evaluación cualitativa incluyó las características: color, olor, sabor y textura. Se empleo cinco muestras cada una con un diferente contenido de humedad (Apéndice E) para poder simular el futuro comportamiento durante el almacenamiento. La calificación de los jueces de acuerdo a los cuestionarios fue interpretada de la siguiente manera

- Para el caso de la escala hedónica:

-3	Le disgusta ligeramente el producto
-2	Le disgusta el producto
-1	Le disgusta mucho el producto
0	Ni le gusta ni le disgusta el producto
1	Le gusta ligeramente el producto
2	Le gusta el producto
3	Le gusta mucho el producto

- Para el caso de comparaciones múltiples:

La muestra es menos salada o presenta menos color que la muestra estándar	Si la diferencia es muchísima	1
	Si la diferencia es mucha	2
	Si la diferencia es moderada	3
	Si la diferencia es ligera	4
No hay diferencia entre la muestra y el estándar		5
La muestra es mas salada o presenta mas color que la muestra estándar	Si la diferencia es ligera	6
	Si la diferencia es moderada	7
	Si la diferencia es mucha	8
	Si la diferencia es muchísima	9

Finalmente los resultados de las evaluaciones fueron sometidos a un análisis de varianza, en la manera que se explica en el apéndice F, para determinar la significancia de cada fuente de variación, es decir para poder saber la diferencia significativa entre las muestras.

2.3.3 Procedimientos Microbiológicos

En el análisis microbiológico lo que se realizó fue un conteo de aerobios mesófilos, mohos y levaduras (Apéndice K), el procedimiento se lo realizó conforme indica las normas INEN (NTE 1529: 1998 pagina 1-4, 1529: 1998 pagina 1-3), Las muestras que se utilizaron para el análisis tuvieron el mismo tratamiento que las que se utilizaron para el análisis sensorial, es decir, estas muestras también ganaron cierta cantidad de humedad (apéndice E), este análisis se basó en el resultado del análisis sensorial de los productos, las muestras que se utilizaron para la siembra fueron las que tuvieron más apreciación por los jueces, que en la mayoría de los casos fueron aquellas muestras con los tres primeros tiempos de ganancia de humedad.

2.4 Determinación del coeficiente de permeabilidad de vapor de agua de películas plásticas

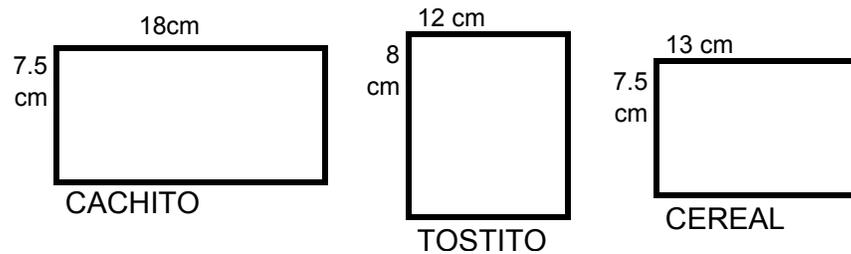
Este método fue basado en la elaboración de fundas utilizando dos tipos de películas plásticas cuyas especificaciones se muestran en la tabla 2. Las dimensiones de las fundas plásticas son las mismas

tanto para la película A como para la película B y se muestran en la figura 2.3.

TABLA 2
ESPECIFICACIONES PELÍCULAS PLÁSTICAS

	Película A		Película B (Laminada)	
				
ESTRUCTURA	Material	Gramage (g/m)	Material	Gramage (g/m)
	BOPP 20 u Impresión	18.2 2.0	Polietileno 40u Adhesivo	37.0 3.3
	Adhesivo	2.0	Aluminio 6,35 u	17.14
	CPP 20 u	22.5	Polipropileno 20 u	18.0
Sistema de impresión	Rotograbado		Rotograbado	
Colores	Azul 2758c Rojo 485 c Amarillo c Blanco c			

FIGURA 2.3
DIMENSIONES DE LAS FUNDAS PLASTICAS EMPLEADAS EN LA
DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE VAPOR DE
AGUA



La densidad de cada uno de los productos fue determinada con el uso de la ecuación 6 y el volumen de cada una de las fundas fue determinado por diferencia de peso con la ayuda de una probeta, de esta manera se pudo conocer la cantidad de producto que se colocó dentro de cada funda plástica. Las muestras fueron tomadas por triplicado y la cantidad de muestra a empaquetar es la misma tanto para las fundas elaboradas de película A como las elaboradas con película B (Tabla 8).

$$\gamma = \frac{m}{V} \dots\dots(6)$$

Donde:

γ = densidad del producto, gramos/cc

m= peso de la muestras, gramos

V= volumen de la probeta ocupado por el producto, (50 cc)

Las fundas fueron selladas herméticamente (empleo de selladora al vacío) y colocadas a condiciones de Quito (15°C y 67.5 % HR) y Guayaquil (32°C y 83.4% HR) en un sistema hermético, los ambientes de humedades relativas para Quito y Guayaquil fueron creados por el empleo de las sales yoduro de potasio y cloruro de potasio respectivamente.

Las fundas plásticas con producto fueron pesadas diariamente hasta alcanzar el equilibrio. El sistema empleado para la saturación de las muestras fue similar al de obtención de las isotermas de absorción y se lo muestra es la figura 2.4

El coeficiente de permeabilidad de vapor de agua fue obtenido a partir de la ecuación (7)

$$\text{Coeficiente de Permeabilidad (P}_{H_2O}) = \frac{WVTR \times \int}{\Delta p} \dots\dots\dots(7)$$

$$WVTR = \frac{Q/t}{A} \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_t = (T_t - T_i) \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

WVTR= Tasa de transmisión de vapor de agua, kg/s

Q/t= Pendiente entre el nuevo peso ganado en un tiempo t, g/dia

l = Espesor de la películas plástica, m

A = Área de la superficie de permeabilidad.

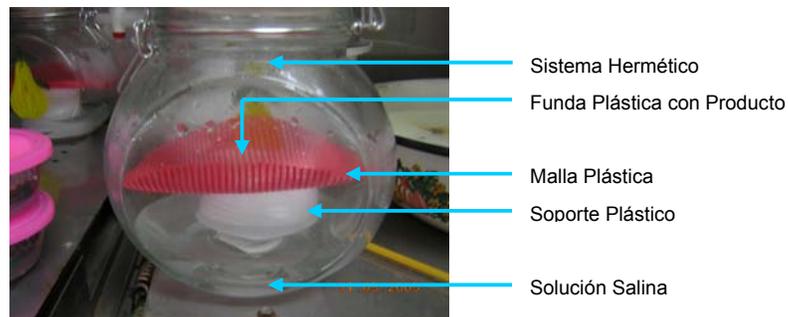
Δp = Diferencia de la presión parcial (= $p_s \times HR/100$), Pa

ΔHR = Diferencia de la humedad relativa entre dentro y fuera del empaque

Q_t = nuevo peso ganado del producto dentro de la funda plástica, g

T_t = peso de cada funda con producto dentro de un tiempo t, g

T_i = peso inicial de cada funda con producto, g

FIGURA 2.4.**SISTEMA PARA DETERMINACION DEL TIEMPO DE VIDA UTIL DEL
PRODUCTO****2.5 Determinación del tiempo de vida útil.**

Existen dos maneras de poder determinar el tiempo de vida útil de los productos y son: el método experimental y el analítico (22). Para este estudio se empleó el método experimental, cuyo procedimiento es similar al de determinación de coeficiente de vapor de agua que se basa en obtener la ganancia de peso de cada uno de los productos a un tiempo t mediante gráficos, una vez establecido esta ganancia de peso poder estimar un tiempo de vida útil basándonos en la humedad crítica (tabla 7) de cada uno de los productos. Para

poder determinar una estimación aproximada del tiempo de vida útil de cada uno de los productos se empleo la ecuación 10

$$\ln \Gamma = \frac{k}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_0}{b} \theta \dots\dots\dots(10)$$

Donned:

$\ln \Gamma$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque

k/x = Permeabilidad de la película plástica, g H₂O / día m² mm Hg,

A = Área de empaque de la película plástica, m²,

W_s = peso de sólidos secos en el empaque, g

P_0 = presión de vapor del agua pura a temperatura T, mm Hg,

b = pendiente de la isoterma (tangente entre la humedad critica e inicial), g H₂O/g de solidó por unidad de a_w .

El $\ln \Gamma$ fue obtenido de la ecuación 8

$$\ln \Gamma = \ln \left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

m_e = Contenido de humedad de la isoterma que se halla en equilibrio con la temperatura y la humedad externa, g H₂O/g sólido

m_i = Contenido inicial de humedad en base seca

m = Contenido de humedad en el tiempo t , horas o días.

Sabiendo que:

$$m = \frac{(W \text{ en tiempo } \emptyset) - (W \text{ inicial})}{W_s} + m_i \dots\dots\dots(12)$$

$$W_s = (W \text{ inicial} - W \text{ funda plástica}) * \frac{\% \text{ sólidos}}{100} \dots\dots\dots(13)$$

$$\% \text{ sólidos} = 1 - \frac{m_i}{1 + m_i} \dots\dots\dots(14)$$

2.6. Relación del área de empaque versus la cantidad de producto a empacar

El propósito de esta determinación es poder estimar cuanto se ve afectado el tiempo de vida útil del producto dependiendo de la cantidad de producto a empacar en empaque secundario (ver figura 2.5). Para ello el producto elegido fue el cereal ya que este es el único de los tres productos en estudio que comercializa dentro de una caja de cartón.

Esta prueba consistió en elegir tres diferentes volúmenes de producto y a la vez empacarlos dentro de fundas plásticas (ver figura 2.6). Se empleo una película plástica que mas se asemeja a las condiciones originales de empaque durante su comercialización, cabe considerar que para este estudio no se determino experimentalmente la velocidad de transmisión de vapor de agua de esta película plástica (WVTR), debido a que las propiedades de barrera de la película empleada no fue relevante ya que el propósito no fue determinar el efecto de la película respecto a la cantidad de producto a empacar.

FIGURA 2.5

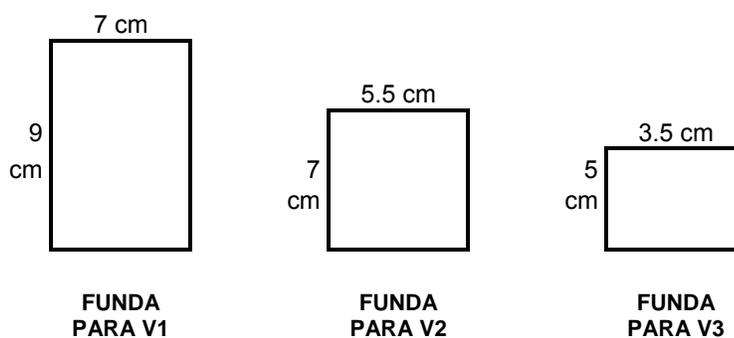
EMPAQUE SECUNDARIO



El valor del WVTR fue tomado de literatura (22). Lo que se calculó teóricamente fue el coeficiente de permeabilidad de la película con el uso de la ecuación 7, para de esta poder determinar el tiempo de vida útil (ecuación 11) con respecto a la cantidad de volumen a empacar.

FIGURA 2.6

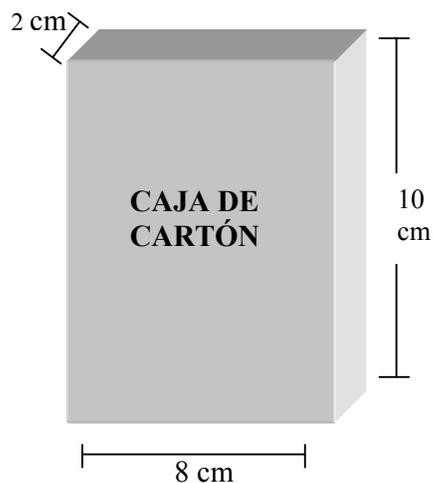
DIMENSIONES DE FUNDAS PLÁSTICAS EMPLEADAS COMO EMPAQUE PARA CADA VOLUMEN DE PRODUCTO A EMPACAR



Una vez empacado y sellado herméticamente el producto este fue guardado dentro de una caja de cartón (ver figura 2.7) simulando las condiciones originales de comercialización de dicho producto. Para determinar la cantidad de producto que se colocó dentro de cada funda plástica se empleó la ecuación 6.

Las cajas de cartón con producto fueron almacenadas dentro de un sistema (ver figura 2.4) simulando una humedad relativa del 80% y colocadas dentro de una estufa a temperatura de 32°C .Se tomaron pesos diariamente hasta que se alcanzo el equilibrio. Los datos fueron realizados mediante dos replicas.

FIGURA 2.7
DIMENSIONES DE CAJA DE CARTÓN EMPLEADA COMO EMPAQUE
SECUNDARIO



2.7. Determinación de la forma de apilamiento y almacenamiento

El propósito de esta determinación es poder estimar cuanto se ve afectado el tiempo de vida útil del producto dependiendo de la manera o forma en la que los productos son apilados (figura 2.8)

durante su almacenamiento en su comercialización. Los productos elegidos para esta determinación fueron el tostito y el cachito, debido a que estos productos se los coloca uno encima de otro a manera de apilamiento cuando son puestos en percha durante su comercialización.

FIGURA 2.8

APILAMIENTO DE LOS PRODUCTOS



CACHITO

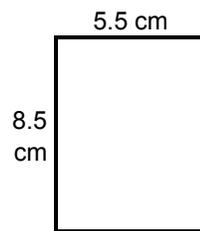
TOSTITO

La prueba consistió en elaborar cinco fundas plásticas para cada producto, las cinco fundas tuvieron las mismas dimensiones tanto para cachito como para tostito (Figura 2.9). Terminada la elaboración de las fundas se procedió a llenarlas con cada uno de los productos, Las fundas con producto fueron selladas herméticamente y colocadas dentro de una funda plástica una encima de otra simulando un apilamiento (ver figura 2.10).

La película plástica empleada para la elaboración de las fundas plásticas es la misma que se empleo en la elaboración de fundas para diferente volumen a empaacar, por lo tanto el coeficiente de permeabilidad fue el mismo. El tiempo de vida útil de cada producto en su respectivo empaque dependiendo de su posición durante el apilamiento fue obtenido de la ecuación 11.

FIGURA 2.9

DIMENSIONES DE LA FUNDA PLÁSTICA EMPLEADA EN EL APILAMIENTO DE CACHITO Y TOSTITO

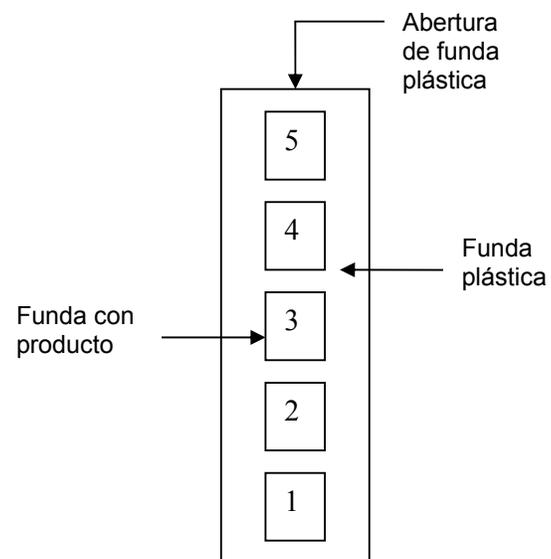


Apiladas las fundas (figura 2.10) tanto para el tostito y para el cachito estas fueron colocadas dentro de un sistema (figura 2.4) simulando una humedad relativa del 80% para luego ser colocadas en una estufa a 32°C simulando las condiciones originales de comercialización de dichos productos. La cantidad de producto que se coloco dentro de cada funda plástica fue calcula mediante la ecuación 6, Se tomaron pesos diariamente hasta que se alcanzo el

equilibrio de cada una de las fundas, teniendo cuidado de no cambiar el orden de apilamiento. Los datos fueron realizados mediante dos replicas.

FIGURA 2.10

NUMERACION Y COLOCACION DE FUNDAS EN APILAMIENTO



CAPÍTULO 3

1. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Humedad Crítica de Bocaditos de Maíz.

La crujencia es considerada en este estudio como el parámetro más importante para la calidad, el cual se ve afectado directamente por el contenido de humedad del producto (14), por ello es importante recordar que la humedad crítica es un parámetro muy importante especialmente para este tipo de productos (extrusados) una vez determinando este parámetro (evaluación sensorial y microbiológica) será posible calcular el tiempo de vida útil del cachito, tostito y cereal

Como se menciono anteriormente, antes de determinar la humedad crítica se debe conocer con cuanta humedad partimos en cada producto, la tabla 2 muestra el contenido de humedad inicial en base seca del cachito, tostito y cereal.

TABLA 2**CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL DE LOS PRODUCTOS**

Producto	Contenido de humedad inicial en base seca (gr H₂O/ 100 gr ss)
Cachito	2.098
Tostito	3.079
Cereal	3.206

Observando los resultados de la tabla 2 se puede verificar que los tres productos cumplen con los límites máximos y mínimos que indica la norma acerca el contenido de humedad inicial de los productos derivados de maíz que deben de estar dentro del rango de 2-5% de humedad.

3.1.1 Isotermas de Adsorción de Bocaditos de Maíz Estrusados a Temperaturas de Almacenamiento

Las isotermas de absorción del cachito, tostito y cereal almacenadas a temperaturas de 32°C y 15°C obtenidas mediante el ajuste de la ecuación de GAB se muestran en las figuras 3.1- 3.3. Los valores experimentales y ajustados de las isotermas de absorción se muestran en el apéndice B y C.

FIGURA 3.1
ISOTERMA DE ABSORCIÓN DEL CACHITO A CONDICIONES
AMBIENTALES DE QUITO Y GUAYAQUIL

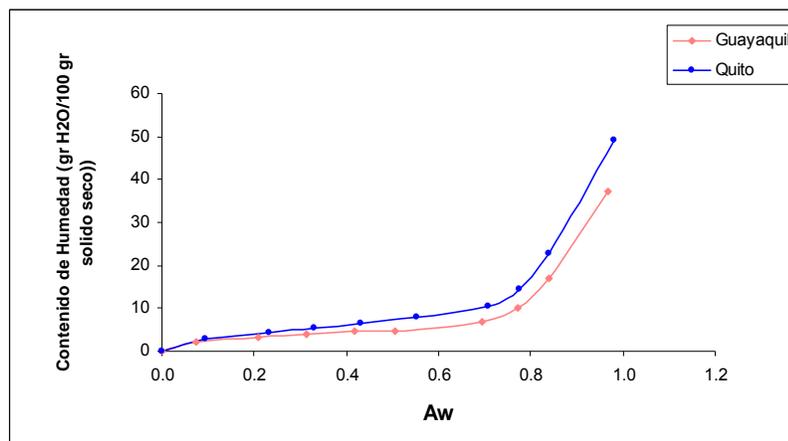


FIGURA 3.2
ISOTERMA DE ABSORCIÓN DEL TOSTITO A CONDICIONES
AMBIENTALES DE QUITO Y GUAYAQUIL

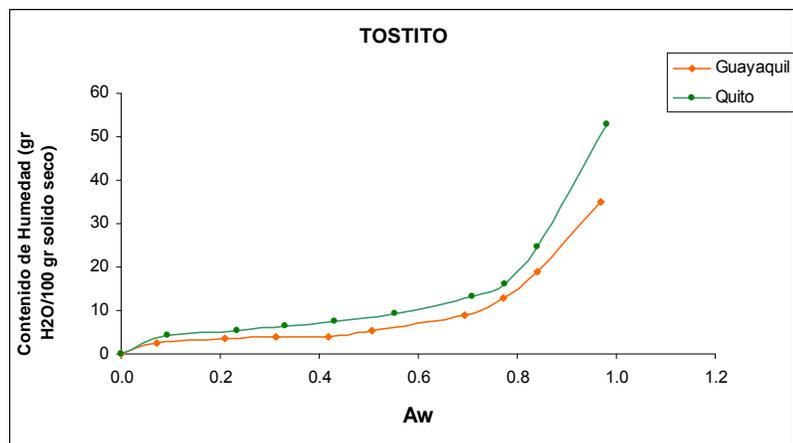
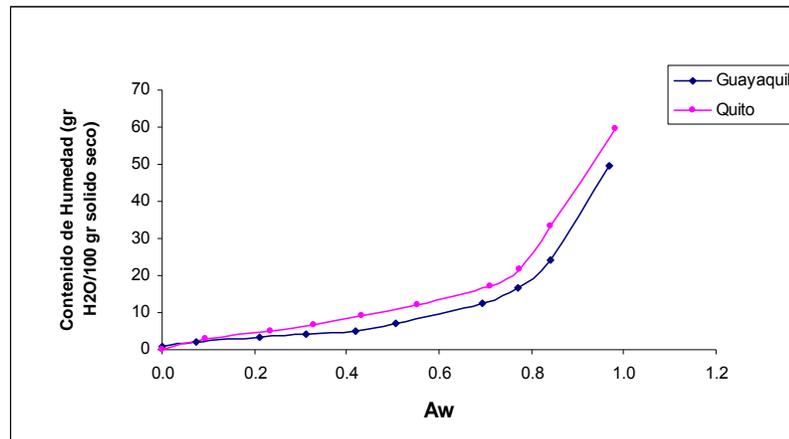


FIGURA 3.3
ISOTERMA DE ABSORCIÓN DEL CEREAL A CONDICIONES
AMBIENTALES DE QUITO Y GUAYAQUIL



Los resultados que nos muestran las isotermas de absorción (Figura 3.1-3.3) de cada uno de los productos presentan una forma sigmoideal típica para la mayoría de los alimentos, lo cual se atribuye a diferencias cualitativas en la afinidad del agua por los sólidos higroscópicos (12). Las isotermas a condiciones ambientales de Quito (15°C – 68% HR) presentan una mayor pendiente que aquellas elaboradas a condiciones de Guayaquil (32°C – 83% RH). En las isotermas de absorción (Figura 3.1-3.3) podemos observar que si los productos

poseen contenidos en agua iguales, a mayor temperatura, ellos presentan una mayor actividad de agua.

Los valores de la monocapa y de actividad de agua del tostito, cachito y cereal a temperaturas de 15 y 32°C calculada en la ecuación de la isoterma mediante el modelo de GAB se muestran en la tabla 3.

TABLA 3
VALORES DE MONOCAPA Y DE ACTIVIDAD DE
AGUA DE LOS PRODUCTOS

Producto	Monocapa		Aw	
	32°C	15°C	32°C	15°C
Cereal	4.79	7.425	0.319	0.293
Tostito	4.0544	4.724	0.257	0.215
Cachito	3.734	4.270	0.273	0.238

Con los resultados obtenidos de actividad de agua (tabla 3) podemos observar que los productos expuestos a 32°C poseen una mayor actividad de agua que aquellos expuestos a 15°C, demostrando que a medida que aumenta la temperatura, aumenta la actividad de agua. Los cambios de actividad de agua se deben probablemente a cambios en las uniones del agua (25)

En la tabla 3 se observa que el cereal es el producto que mayor actividad de agua presenta, esto tiene relación con la cantidad de sólidos que presenta el producto, siendo el cereal el que menor contenido en sólidos tiene (96.86 %) comparado con el cachito(97.01 %) y el tostito (97.95%), por lo que se puede mencionar que el contenido de sólidos que posee un producto influye de manera directa al la actividad de agua del mismo, consecuentemente los productos van a presentar una mayor actividad de agua a medida que disminuyen los sólidos.

En la tabla 3 se observan los valores de monocapa de cada uno de los productos, cabe recalcar que la monocapa indica la cantidad máxima de agua que puede estar unida al sólido seco (14), como se muestra los productos expuestos a menor temperatura (15°C) presentan un valor de monocapa mayor que los expuestos a 32°C (Tabla 3). Esto se debe a que a medida que aumenta la temperatura mas cantidad de agua se encuentra fuertemente ligada al sólido seco.

Conocido el valor de la monocapa es posible tener una buena estimación del contenido de agua inicial que imparte la

máxima estabilidad de los alimentos, ya que a estos valores de humedad existe la mayor estabilidad para los productos, por ser aquí mínimas las reacciones de deterioro (11).

En la tabla 4 se observa la humedad de equilibrio del cachito, tostito y cereal almacenados a condiciones ambientales de Guayaquil (32°C – 83% HR) y Quito (15°C – 63% RH). Refiriéndose a la humedad de equilibrio (Me), esta nos indica la cantidad de humedad en la cual el sólido posee una presión de vapor igual a la presión de vapor de la atmósfera que lo rodea.

TABLA 4
HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LOS PRODUCTOS
ALMACENADOS A TEMPERATURA AMBIENTE

Producto	Humedad de equilibrio (gr/100gr ss)	
	32°C (80% HR)	15°C (62% HR)
Cereal	49.63	59.67
Tostito	34.89	52.70
Cachito	37.12	49.17

Como podemos darnos cuenta los productos presentan una humedad de equilibrio inferior a los que fueron expuestos para

el caso de los 32°C con una humedad relativa del 80% y para los 15°C una humedad relativa del 62%, por lo tanto, los productos tendrán la tendencia a hidratarse a hidratarse con facilidad, siendo con mayor rapidez aquellos expuestos a 32°C debido a que el delta de diferencia de humedad es mayor que el de 15°C.

Consecuentemente se puede mencionar que los productos podrán conservar su crujencia por un mayor tiempo en Quito dado a que su humedad de equilibrio es menor que en Guayaquil. La pérdida de crujencia se debe probablemente a cambios en la rapidez con la que las moléculas de almidón se deslizan más allá de una con respecto a la otra, (27)

3.1.2 Resultados de Evaluación Sensorial

El resultado de la puntuación que los jueces otorgaron a cada una de las muestras las podemos observar en la tabla 5 y 6.

TABLA 5
RESULTADOS OTORGADOS POR LOS JUECES EN LA PRUEBA DE
ESCALA HEDONICA:

Muestra	Puntuación		
	Cachito	Tostito	Cereal
A	1.267	1.267	1.900
B	1.033	1.133	1.567
C	0.733	1.100	1.300
D	0.600	-0.033	0.767
E	-0.233	-0.233	0.367

TABLA 6
RESULTADOS OTORGADOS POR LOS JUECES EN LA PRUEBA DE
COMPARACIONES MULTIPLES

Muestra	Puntuación				
	Cachito		Tostito		Cereal
	Color	Sabor	Color	Sabor	Color
A	6.2	6.3	5.1	5.8	5.7
B	6.2	6.1	5.1	5.1	5.4
C	5.6	4.3	4.6	3.7	5.3
D	3.5	3.8	4.0	3.4	4.7
E	3.3	3.4	3.8	3.3	4.7

Una vez realizado los respectivos análisis de varianza (apéndice G, H, I), y analizados los valores de las F_v obtenidas en el análisis de varianza y comparándolos con las F_t obtenidas de las tablas se puede observar que el cachito, el tostito y el cereal si presentan diferencia significativa entre las

muestras, pero para poder decir cual muestra esta mas crujiente que la otra en el caso de la prueba de escala hedónica y para el caso de la prueba de comparación múltiple cual esta mas salada o menos salada o cual presenta mas o menos color fue necesario establecer cual es la diferencia significativa mínima (DMS) entre las muestras. Para ello se aplico la prueba de Tukey, (apéndice J).

Mediante el análisis de Tukey se pudo establecer que las muestras A, B y C de los productos son más apreciables por los jueces tanto para la escala Hedónica como para la prueba de Comparación Múltiple. Aquellas muestras con un contenido superior de humedad fueron rechazadas por los jueces. El rechazo sensorial se debió fundamentalmente a la pérdida de su textura (crujidez) por lo tanto el contenido máximo de humedad aceptable por los jueces corresponde a la humedad crítica de los productos. La tabla 7 muestra el contenido de humedad crítica del tostito, cachito y cereal almacenados a una temperatura de 32°C, con estos valores se conoce hasta que contenido de humedad es agradable al consumo humano

TABLA 7
CONTENIDO DE HUMEDAD CRITICA DE LOS PRODUCTOS

Producto	Humedad Critica (g/100 g ss)
Cachito	6.034
Tostito	8.369
Cereal	11.130

3.1.3 Análisis Microbiológico

En la figuras 3.4 y 3.5 se observa el conteo realizado de aerobios mesófilos y de mohos y levaduras para el cachito, tostito y cereal.

FIGURA 3.4
RECUESTO DE AEROBIOS MESOFILOS DE LOS PRODUCTOS

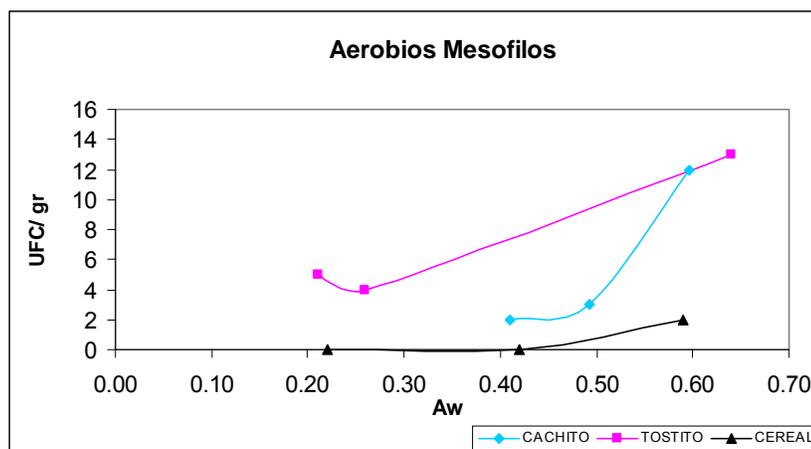
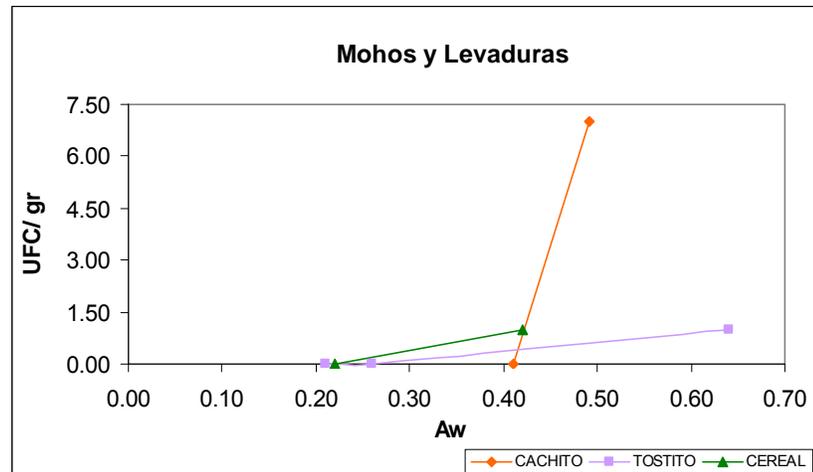


FIGURA 3.5
RECuento de Aerobios Mesofilos de los Productos



Observando las figuras 3.4 – 3.5 podemos darnos que el crecimiento de aerobios, mohos y levaduras es mínimo, esto se debe a que el rango de actividad de agua que presentan cada uno de estos productos no es el apropiado para el crecimiento microbiano. Los pocos microorganismos que se presentaron en los productos se debió fundamentalmente a una mala manipulación durante la preparación de las muestras para el conteo. La cantidad de microorganismos presenten en las muestras esta dentro de los límites microbiológicos

establecidos (11). Por lo tanto el contenido de humedad hasta la cual fueron aceptados los productos sensorialmente se encuentran aptos microbiológicamente, quedando de esta manera constatados las humedades críticas de cada uno de los productos (tabla 7)

3.2 Efecto del Tipo de Material de Empaque en el Tiempo de Vida Util Temperaturas de Almacenamiento

Antes de proceder a realizar un análisis del efecto del tipo de material de empaque es necesario realizar un análisis del coeficiente de permeabilidad de vapor de agua. Para ello, detallamos a continuación una serie de resultados obtenidos previos a dicho análisis. La tabla 8 muestra cantidad de cada producto que se colocó dentro de cada funda. En el apéndice L se muestra los datos de cambio de peso de los productos con sus respectivos tipos de fundas plásticas a un tiempo determinado para las condiciones de Quito y Guayaquil.

La tabla 9 muestra las dimensiones de los tipos de funda A y B para cada uno de los productos, cabe recordar que las dimensiones de las

fundas plásticas son las mismas tanto para la del tipo A como para la del tipo B. En la tabla 10 se muestra el coeficiente de permeabilidad de vapor de agua para cada una de las películas plásticas.

TABLA 8
CANTIDAD DE PRODUCTO COLOCADO EN EMPAQUE ELABORADO CON
PELICULA PLASTICA A Y B

Producto	Densidad del Producto (g/cc)	Volumen de la funda Plástica A B (cc)	Cantidad de producto a empacar (g)
Cachito	0.0718	31.05	2.229
Cereal	0.1833	21.30	3.904
Tostito	0.2289	18.70	4.280

TABLA 9
DIMENSIONES DE LAS FUNDAS PLÁSTICAS USADAS EN LA
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE VAPOR DE
AGUA

	Longitud cm	Amplitud cm	Promedio cm ²	Área de Permeación cm ²
Cachito	18	7.5	135	270
Tostito	8	12	96	192
Cereal	13	7.5	97.5	195

TABLA 10
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA DE LAS PELICULAS PLASTICAS

		Area		Q/t		WVTR		k/x		Coeficient. Permea	
		(m ²)		(g/dia)		(g/dia/m ²)		(g/dia/m ² /mmHg)		(g.mil/dia/m ² /mmHg)	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
cachito	32°C	0.0270	0.0270	0.0075	0.0013	0.2778	0.0481	0.0080	0.0014	0.0126	0.0036
	15°C	0.0270	0.0270	0.0042	0.0007	0.1556	0.0259	0.0179	0.0030	0.0082	0.0078
tostito	32°C	0.0192	0.0192	0.0075	0.0005	0.3906	0.0260	0.0112	0.0007	0.0177	0.0020
	15°C	0.0192	0.0192	0.0010	0.0002	0.0521	0.0104	0.0060	0.0012	0.0094	0.0031
cereal	32°C	0.0195	0.0195	0.0073	0.0003	0.3744	0.0154	0.0107	0.0004	0.0169	0.0012
	15°C	0.0195	0.0195	0.0008	0.0002	0.0410	0.0103	0.0047	0.0012	0.0074	0.0031

Como podemos observar el coeficiente de permeabilidad de las películas plásticas (tabla 10) se incrementa a medida que se incrementa la temperatura, siendo la película A la que permite una mayor transferencia al vapor de agua.

En las figuras 3.6 – 3.8 podemos observar la ganancia de peso en base seca a un tiempo determinado del cachito, tostito y cereal a condiciones ambientales de Quito y Guayaquil utilizando películas plásticas tipo A y B (Tabla 1).

FIGURA 3.6

GANANCIA DE HUMEDAD DEL CACHITO ALMACENADO A CONDICIONES DE QUITO Y GUAYAQUIL

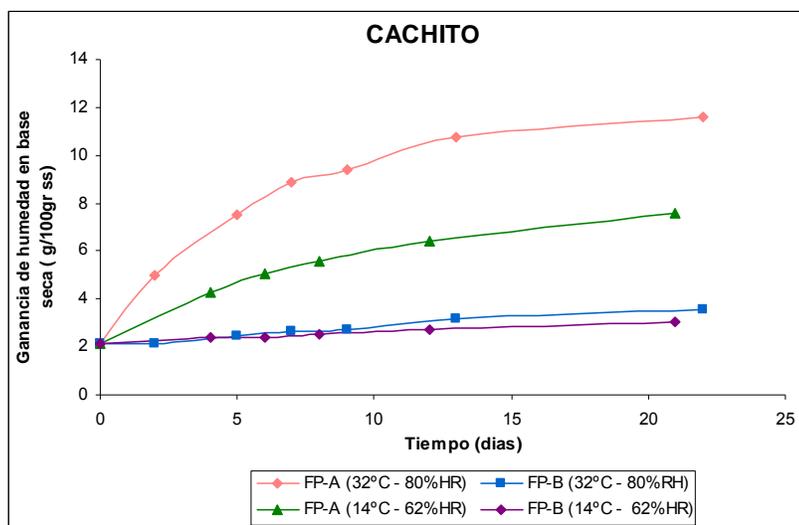
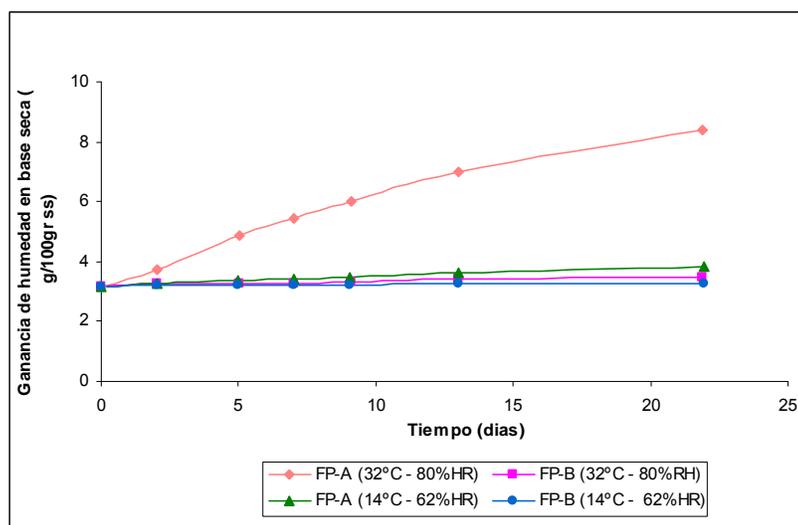


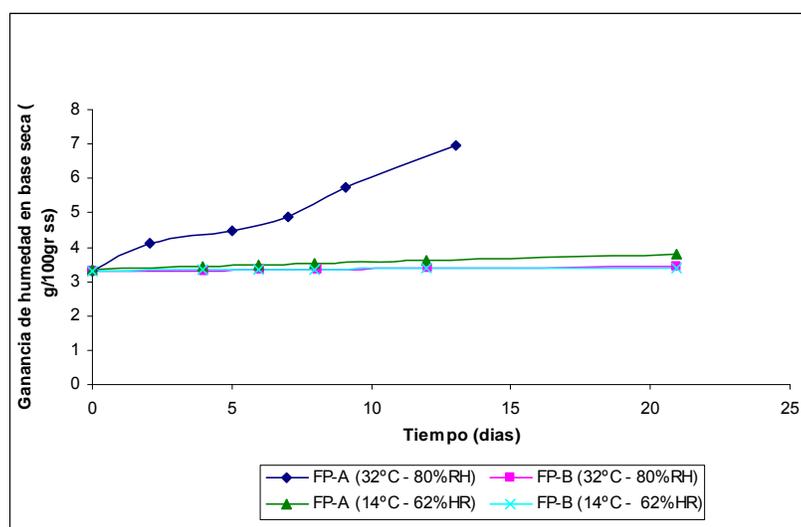
FIGURA 3.7
GANANCIA DE HUMEDAD DEL TOSTITO ALMACENADO A CONDICIONES
DE QUITO Y GUAYAQUIL



En las figura 3.6 – 3.8 podemos darnos cuenta que todos los productos que se encuentran empacados dentro del plástico A presentan una mayor ganancia de humedad que aquellos que se encuentran dentro del plástico B, esto se debe a que el plástico B presenta mejores propiedades de barrera, entre ellas tenemos: la permeabilidad al vapor de agua que posee esta película es menor y su gramaje es mucho mayor que el de la película. También podemos darnos cuenta que aquellos productos almacenados a una menor temperatura captaron un menor contenido de humedad, esto es debido a que el coeficiente de permeabilidad de vapor de agua de

algunos polímeros depende de la temperatura y de la humedad relativa (22).

FIGURA 3.8
GANANCIA DE HUMEDAD DEL CEREAL ALMACENADO A CONDICIONES
DE QUITO Y GUAYAQUIL



Basándonos en los resultados de las figuras 3.6-3.18 y con los valores de humedad crítica se pudo determinar el tiempo de vida útil de los productos, estos resultados lo podemos ver en la tabla 11. La tabla 11 nos indica la influencia directa que tiene el tipo de material de empaque que se emplee en los alimentos ya que está comprobado que las propiedades de barrera y las condiciones de

almacenamiento influyen directamente en la calidad de los productos. Aquellos productos almacenados a una menor temperatura y empacados con película plástica que posea buenas propiedades de barrera, los productos podrán mantenerse por un tiempo de vida mas prolongado

TABLA 11
TIEMPO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS USANDO DIFERENTES TIPOS
DE PELÍCULA PLASTICA

	Tiempo de vida útil (días)			
	32 °C y 80% HR		14 °C y 62% HR	
	Plástico A	Plástico B	Plástico A	Plástico B
Cachito	3	mas de 22	Mas de 21	mas de 21
Tostito	10	mas de 21	mas de 22	mas de 22
Cereal	21	mas de 21	mas de 21	mas de 21

Los valores de la tabla 11 no indican datos exactos del tiempo de vida útil de cada uno de los productos, por este motivo se empleo la ecuación 10. En el apéndice M podemos observar los datos obtenidos del contenido de humedad no completado a un tiempo t. En las figuras 3.9 - 3.14 se muestran los resultados obtenidos de la humedad no completada para el cachito, tostito y cereal almacenados a temperatura de Quito (15°C – 68% HR) y Guayaquil (32°C – 83% HR) utilizando película plástica A y B (tabla 1).

FIGURA 3.9
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL CACHITO A
CONDICIONES AMBIENTALES DE GUAYAQUIL EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B

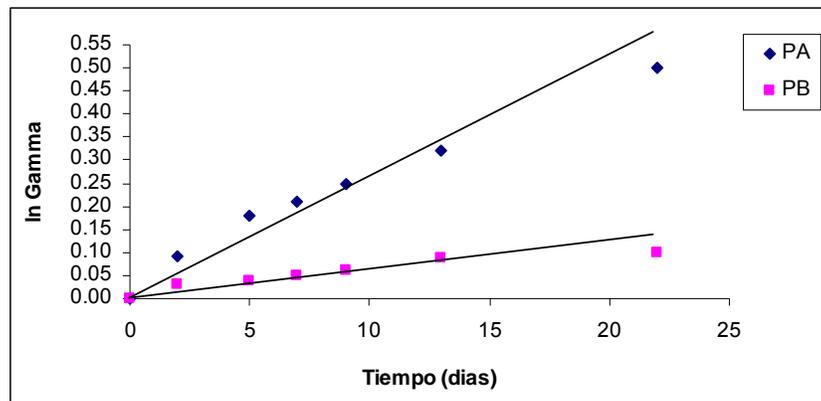


FIGURA 3.10
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL CACHITO A
CONDICIONES AMBIENTALES DE QUITO EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B

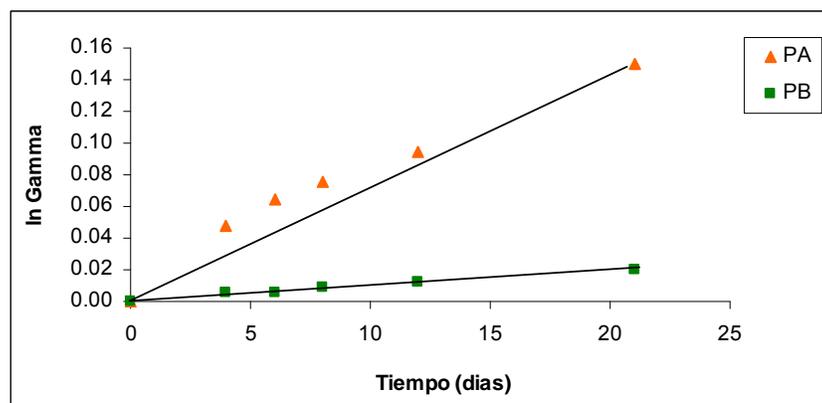


FIGURA 3.11
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL TOSTITO A
CONDICIONES AMBIENTALES DE GUAYAQUIL EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B

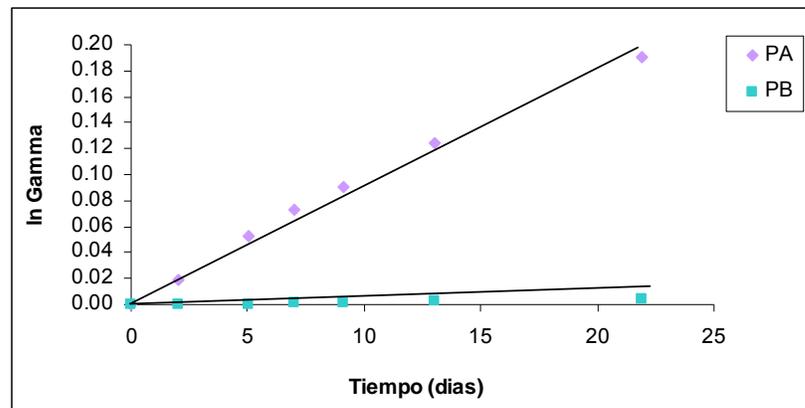


FIGURA 3.12
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL TOSTITO A
CONDICIONES AMBIENTALES DE QUITO EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B

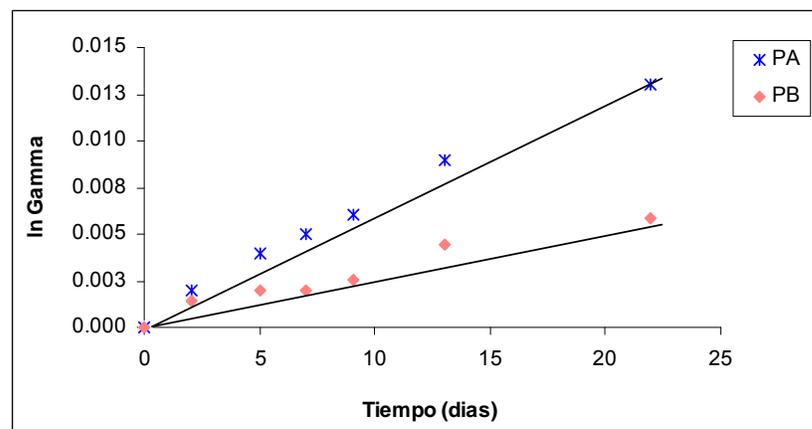


FIGURA 3.13
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL CEREAL A
CONDICIONES AMBIENTALES DE GUAYAQUIL EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B

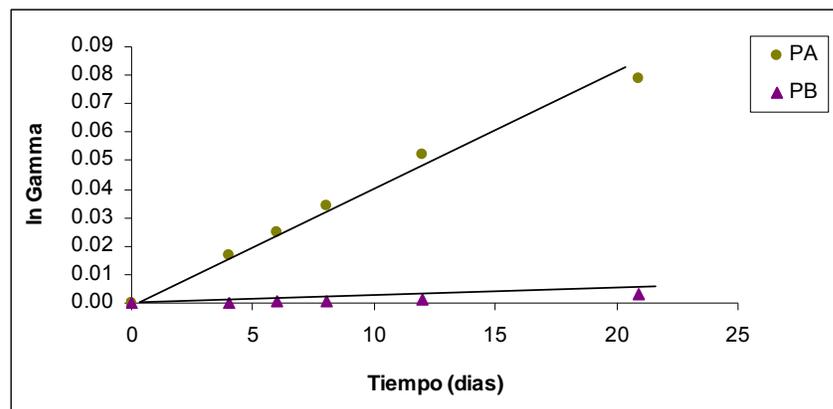
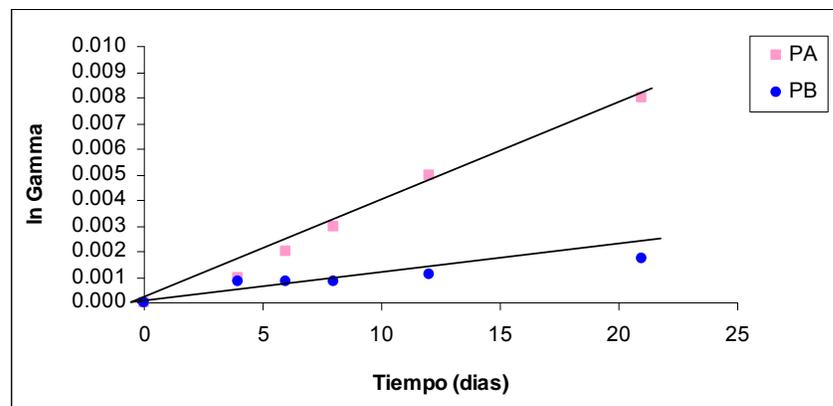


FIGURA 3.14
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL CEREAL A
CONDICIONES AMBIENTALES DE QUITO EMPLEANDO PLÁSTICO A Y
PLÁSTICO B



Las figuras (3.9 – 3.14) fueron simplificados mediante cálculos teóricos (ecuacion10), que nos permitió obtener la pendiente teórica y de esta manera poder predecir el tiempo de vida útil de cada uno de los productos. En la tabla 12 se observa una estimación más precisa del tiempo de vida útil de cada uno de los productos almacenados a temperaturas ambiente empleando los dos tipos de películas plásticas A y B (tabla 1)

TABLA 12

ESTIMACION DEL TIEMPO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS EMPLEANDO DOS TIPOS DE PELICULAS PLASTICA Y ALMACENADOS A TEMPERATURA AMBIENTE

	Cachito		Tostito		Cereal	
	32°C	15°C	32°C	15°C	32°C	15°C
In critico	0.12	0.087	0.097	0.061	0.063	0.051
Slope A (Rep 1)	0.0490	0.0387	0.0256	0.004	0.0132	0.00183
Slope A (Rep 2)	0.0452	0.0346	0.0272	0.0042	0.0145	0.00189
Slope B (Rep 1)	0.0087	0.0057	0.0017	0.0008	0.0005	0.00046
Slope B (Rep 2)	0.0080	0.0057	0.0018	0.0007	0.0005	0.00047
Qc A	2	3	7	15	20	81
Qc B	10	15	97	109	110	120

Los resultados de la tabla 12 muestran como aquellos productos empacados dentro del tipo de película B y almacenados a temperatura ambiente de Quito presentan un mayor tiempo de vida útil.

3.3 Efecto de la relación del área de empaque versus la cantidad de producto a empacar en el tiempo de vida útil utilizando empaque secundario.

En el apéndice n se muestran los datos de contenido de humedad no completada. la cantidad de producto que se colocó dentro de cada funda plástica para cada uno de los volúmenes de producto se muestra en la tabla 13. en la tabla 14 se muestra la permeabilidad de la película plástica empleada el diferente volumen de empaque y en la tabla 15 se muestra las dimensiones de las fundas plásticas para cada uno de los volúmenes a empacar en la determinación del tiempo de vida útil

TABLA 13

CANTIDAD DE PRODUCTO A COLOCAR DENTRO DE CADA FUNDA PLASTICA DEPENDIENDO DEL VOLUMEN DE EMPAQUE

:

	Masa (g)
V1	14.4807
V2	6.9654
V3	1.4664
Densidad del cachito = 0.1833 gr/ cc	

TABLA 14
PERMEABILIDAD DE LA PELÍCULA PLÁSTICA EMPLEADA COMO EMPAQUE
DE PRODUCTO EN DIFERENTE VOLUMEN EMPACADO

Película Plástica (LDPE)	
WVTR (24°C - 44% HR) (g/día/m ²)	k/x (g/día/m ² /mmHg)
1.3	0.131

TABLA 15
DIMENSIONES DE LAS FUNDAS PLÁSTICAS PARA CADA UNO DE LOS
VOLÚMENES A EMPACAR EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA
ÚTIL

	Longitud cm	Amplitud cm	Promedio cm	Área de Permeación cm
V1	7	7	49	98
V2	5.5	7	38.5	77
V3	3.5	5	17.5	35

En la figura 3.15 podemos observar el contenido de humedad no completada de cada uno de los volúmenes de producto empacados a 32°C

FIGURA 3.15
HUMEDAD NO COMPLETADA (Γ GAMMA) DEL CADA UNO DE LOS
VOLUMENES DE CEREAL EMPACADOS A 32°C

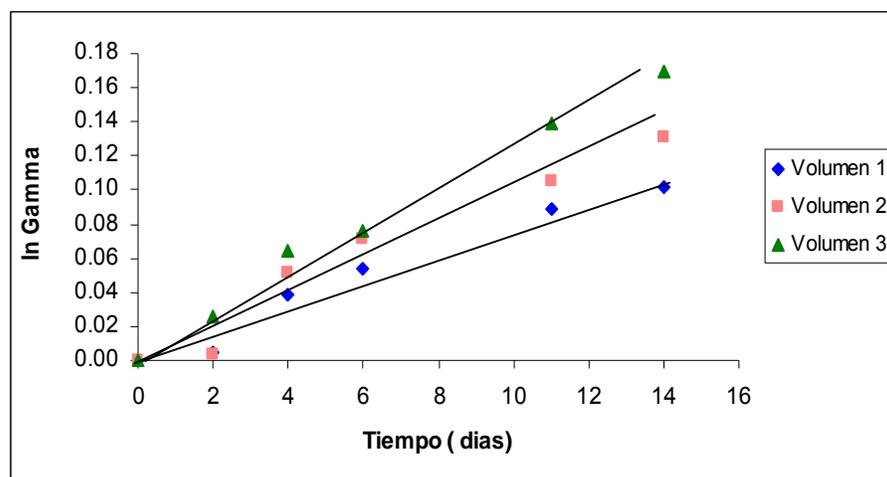


TABLA 16
TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CEREAL DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD DE
VOLUMEN A EMPACAR

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3
In critico	0.187	0.187	0.187
Slope (Rep 1)	0.0282	0.0498	0.0790
Slope (Rep 2)	0.0282	0.0522	0.0708
Qc (Rep 1)	7	4	2

Observando los resultados de la tabla 16 podemos ver la influencia directa que tiene la cantidad de volumen empacado, respecto al

tiempo de vida útil. El volumen 3 es el que presenta un menor tiempo de vida útil. Esto puede deberse a que por la pequeña cantidad de volumen empacado (tabla 13) dentro de un empaque secundario, va a existir una mayor área disponible para que el agua pueda ingresar fácilmente al producto, caso contrario ocurre con los otros 2 volúmenes (tabla 13) que abarcan casi toda el área del empaque secundario, bloqueando de alguna manera la transferencia de vapor de agua a través del empaque.

3.4 Efecto de las condiciones de almacenamiento en el tiempo de vida útil

Como se comprobó anteriormente sea cual fuere el tipo de película plástica que se emplee para empacar los productos, estos se verán afectados dependiendo de las condiciones de almacenamiento. En todas las pruebas anteriormente realizadas está demostrado como afecta la temperatura en el tiempo de vida útil de los alimentos, debido a la diferencia de humedad del producto con el ambiente. Las figuras 3.16 -3.18) muestran con el contenido de humedad no completada del cachito, tostito y cereal empacados con película plástica A a condiciones ambientales de Quito y Guayaquil.

FIGURA 3.16
CONTENIDO DE HUMEDAD NO COMPLETADA DEL CACHITO
EMPACADO CON PELÍCULA PLÁSTICA (A) CONDICIONES AMBIENTALES
DE QUITO Y GUAYAQUIL.

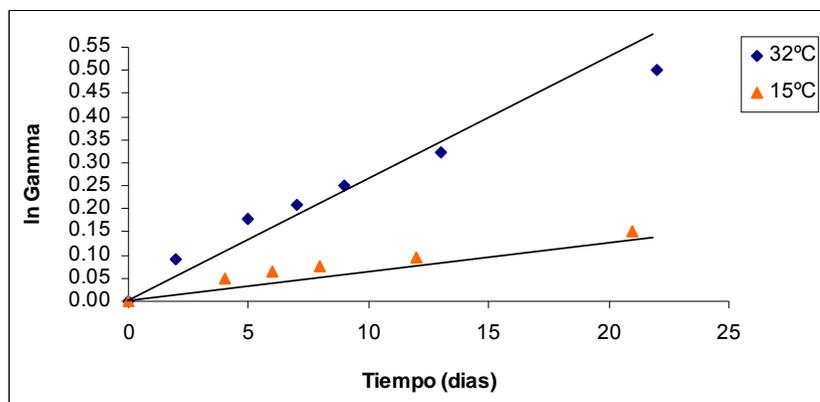


FIGURA 3.17
CONTENIDO DE HUMEDAD NO COMPLETADA DEL TOSTITO
EMPACADO CON PELÍCULA PLÁSTICA (A) CONDICIONES AMBIENTALES
DE QUITO Y GUAYAQUIL.

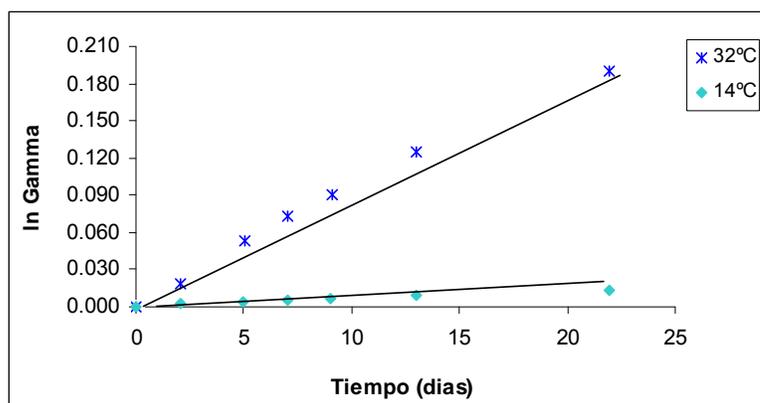


FIGURA 3.18
CONTENIDO DE HUMEDAD NO COMPLETADA DEL CEREAL
EMPAcado CON PELÍCULA PLÁSTICA (A) CONDICIONES AMBIENTALES
DE QUITO Y GUAYAQUIL.

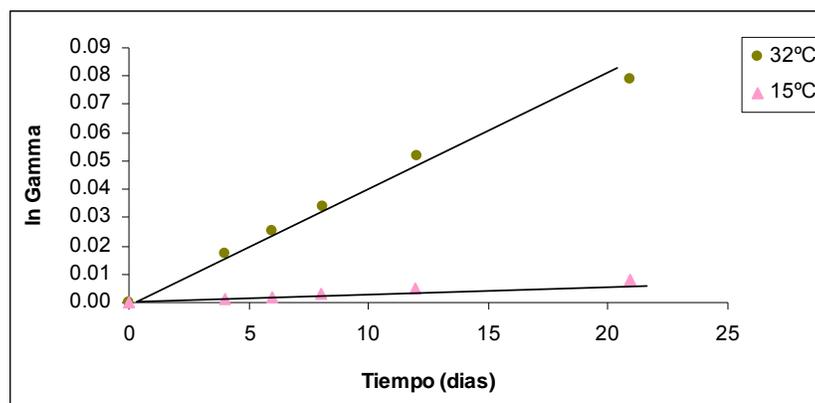


TABLA 17
TIEMPO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS DEPENDIENDO DE LAS
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

	Cachito		Tostito		Cereal	
	32°C	15°C	32°C	15°C	32°C	15°C
In critico	0.12	0.087	0.097	0.061	0.063	0.051
Slope A (Rep 1)	0.0490	0.0387	0.0256	0.004	0.0132	0.00183
Slope A (Rep 2)	0.0452	0.0346	0.0272	0.0042	0.0145	0.00189
Qc A	2	3	7	15	20	81

Los resultados de la tabla 17 reafirman lo anteriormente dicho, acerca de que los productos tendrán un mayor tiempo de vida útil en

Quito que en Guayaquil, debido a que el delta de diferencia de humedad relativa es menor que el de Guayaquil, por lo que los productos van a conservar su textura crujiente por mucho mas tiempo cuando se los almacene a 32°C que a 15°C

3.5 Efecto de la forma de apilado en el tiempo de vida útil

En el apéndice O se muestran los datos de contenido de humedad no completada. La cantidad de producto que se colocó dentro de cada funda plástica se muestra en la tabla 18. El coeficiente de permeabilidad de la película plástica empleada para la elaboración de fundas dependiendo de la forma de apilamiento fue tomado de la tabla 14.

TABLA 18

**CANTIDAD DE PRODUCTO A COLOCAR DENTRO DE CADA FUNDA
PLASTICA DEPENDIENDO DE LA FORMA DE APILAMIENTO**

	Volumen cc	Densidad gr/cc	Masa gr
Cachito	37	0.0718	2.6566
Tostito	37	0.2289	8.4693

TABLA 19

TIEMPO DE VIDA UTIL DEL TOSTITO DEPENDIENDO DE LA POSICION QUE SE ENCUENTRA EN EL APILAMIENTO

	Funda 1	Funda 2	Funda 3	Funda 4	Funda 5
In critico	0.181	0.181	0.181	0.181	0.181
Slope Rep 1	0.0798	0.0770	0.0760	0.0772	0.0766
Slope Rep 2	0.0776	0.0759	0.0787	0.0785	0.0778
Qc	55	56	58	56	55

TABLA 20

TIEMPO DE VIDA UTIL DEL CACHITO DEPENDIENDO DE LA POSICION QUE SE ENCUENTRA EN EL APILAMIENTO

	Cachito				
	Funda 1	Funda 2	Funda 3	Funda 4	Funda 5
In critico	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127
Slope Rep 1	0.2330	0.2128	0.2146	0.2146	0.2320
Slope Rep 2	0.2330	0.2052	0.1996	0.2269	0.2269
Qc	12	13	14	13	12

Las tablas 19 y 20 muestran el contenido de humedad dependiendo de la posición en la cual estos se encuentran apilados, dando como resultados que aquellos productos que se encuentran en los extremos (posición de la funda 1 y funda 5) absorben un mayor contenido de humedad, mientras que aquellos que se encuentra en la posición de la funda 3 absorben un menor contenido de humedad, esto se debe a que los productos colocados en las posiciones de la

funda 1 y la funda 2 tienen tendencia a ganar más contenido de humedad debido a que se encuentran a los extremos, por lo que el vapor de agua va a tener una mayor área para ingresar a través del empaque, caso contrario ocurre con los productos que fueron colocados en la posición de la funda 3 porque aquí el vapor de agua va a tener un menor área de penetración a través de la película ya que a ambos lados de esta se encuentran protegidos por los otros productos, por lo tanto los productos cuando se los coloque en la posición que se encuentra la funda 3 van a tener un mayor tiempo de vida útil, que aquellos colocados en la posición de la funda 1 y funda 5.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. A través de las isotermas de absorción podremos saber el contenido en humedad del alimento en función de la humedad relativa y la temperatura a la que lo almacenemos, además estas son necesarias para predecir la transferencia de vapor de agua a través de las películas plásticas, para de esta poder predecir el tiempo de vida útil de los productos.
2. La forma sigmoideal que presentan las isotermas de absorción del cachito, tostito y cereal se debe a diferencias cualitativas en la afinidad del agua por los sólidos higroscópicos, mostrando una mayor pendiente a condiciones ambientales de Quito.

3. La actividad de agua cambia por la temperatura debido a cambios en las uniones de agua, es por ello que los productos almacenados en Guayaquil muestran una actividad de agua mayor que aquellos almacenados en Quito.

4. El contenido de sólidos que posee cada uno de los productos influye de manera directa a la actividad de agua, teniendo una mayor actividad de agua a medida que disminuyen los sólidos, como fue el caso del cereal que es el producto con menor cantidad de sólidos, por lo tanto es el producto con mayor actividad de agua.

5. El valor de la monocapa nos permite tener una buena estimación del contenido de agua inicial que imparte la máxima estabilidad de los alimentos, Mientras mayor es el contenido de la monocapa mayor es la estabilidad del producto ya que puede adsorber mayor cantidad de agua hasta formar la primera capa en contacto con el alimento, como es el caso del cereal que proporciona un contenido de humedad de monocapa superior que los otros productos, convirtiéndolo en el producto que mas estabilidad tendrá tanto en la Guayaquil como en Quito.

6. Los productos expuestos a condiciones de Quito poseen un valor de monocapa superior que los expuestos a condiciones de Guayaquil, esto se debe a que a medida que aumenta la temperatura más cantidad de agua se encuentra fuertemente ligada al sólido seco.

7. Los productos expuestos a condiciones de Guayaquil, absorben un contenido de humedad superior que el de Quito, debido a que su delta de diferencia de humedad de equilibrio (Me) es mayor, es por ello que los productos en Quito podrán conservar su crujencia por un mayor tiempo.

8. La pérdida de la textura de los productos estudiados se vio disminuida al aumentar la actividad de agua, esto se lo comprobó mediante la evaluación sensorial, que además permitió predecir el contenido de humedad crítica arriba del cual el producto perderá su textura crujiente, la pérdida de esta se debe probablemente a cambios en la rapidez con la que las moléculas de almidón se deslizan más allá de una con respecto a la otra.

- 9.** La temperatura a la cual los productos son almacenados influyen de manera directa en el tiempo de vida útil de los productos como es el caso de los productos que se almacenaron en Guayaquil, esto se debe a que el coeficiente de permeabilidad de algunos polímeros depende de la temperatura y de la humedad relativa.

- 10.** Las propiedades de barrera de las películas plásticas influyen de manera directa en la transferencia de vapor de agua siendo las mas relevante en este estudio la permeabilidad y el espesor, mostrando mejores propiedades de barrera el plástico tipo B.

- 11.** La cantidad de volumen a empacar dentro de un empaque secundario tiene una influencia directa con el tiempo de vida útil, quedando demostrado que mientras mayor es el área de contacto del producto empacado dentro de un empaque secundario menor es la transferencia de vapor de agua a través de la película plástica, por lo tanto mayor será el tiempo de vida útil del producto.

12.Dependiendo de la forma o manera en la cual los productos son apilados, va a influir el tiempo de vida útil de los mismos, de tal manera que aquellos productos colocados a los extremos tanto superior como inferior durante el apilamiento van a absorber un mayor contenido de humedad, por lo tanto su tiempo de vida útil va a ser menor comparado con aquellos productos que se coloque en posición intermedia durante su apilamiento

Recomendaciones

1. Se debe estudiar las características del producto como las isotermas de adsorción, las humedades críticas y luego determinar el requerimiento de permeabilidad para que, en base a estos datos, la empresa productora de plástico fabrique un empaque que cubra las necesidades del producto estudiado.
2. Para controlar el contenido de humedad del alimento a través del empaque, se debe tomar muy en cuenta una serie de factores como lo son la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR), el área de transferencia y el espesor de la película, sin dejar a un lado las condiciones de almacenamiento a las cuales los productos van a ser expuesto.
3. Cuando se realice la determinación del coeficiente de permeabilidad de vapor de agua realizarlo tal como indica la norma, es decir, usando algún tipo desecante, ya que al hacerlo mediante el uso de alimento,

los valores del coeficiente van a variar dependiendo del tipo de película plástica y del alimento que se emplee.

4. Para tener unos datos mas precisos en el tiempo de vida útil dependiendo del volumen a empacar y la forma en la cual son apilados los productos es recomendable, determinar el coeficiente de permeabilidad de la película plástica, ya que para este estudio este valor fue tomado de literatura.

5. Es muy importante también determinar los contenidos de humedad critica dependiendo de las condiciones a la cual los productos están siendo expuestos ya que para este estudio todas las pruebas realizadas que involucraron valores de humedad critica de Quito se tomaron los valores de humedad critica de la Guayaquil.

APÉNDICE A

SOLUCIONES SALINAS SATURADAS CON SUS RESPECTIVAS HUMEDADES RELATIVAS

Sales	Humedad relativa 32°C	Humedad relativa 15°C
Hidróxido de Sodio	7.3	9.5
Acetato de Potasio	21	23.4
Cloruro de Magnesio	32.3	33
Carbonato de Potasio	42.9	43.1
Nitrato de Magnesio	50.7	55.3
Yoduro de Potasio	67.5	70.9
Cloruro de sodio	74.9	75.6
Cloruro de Potasio	83.4	85.9
Sulfato de Potasio	96.8	98.1

Fuente: Greespan,(10)

APENDICE B

DATOS EXPERIMENTALES DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PRODUCTOS PAR A LAS ISOTERMAS DE ABSORCIÓN

MCDS (gr H ₂ O/ 100 gr ss) a 15°C			
AW	CEREAL	TOSTITO	CACHITO
0.095	4.839	3.428	2.642
0.234	7.053	5.436	4.644
0.330	7.659	8.721	5.431
0.431	8.870	7.137	5.917
0.553	9.606	10.022	8.459
0.709	16.067	12.326	10.696
0.756	17.091	16.310	16.486
0.859	38.862	22.857	20.007
0.981	58.713	52.743	49.228

MCDS (gr H ₂ O/ 100 gr ss) a 32°C			
AW	CEREAL	TOSTITO	CACHITO
0.073	3.312	3.178	2.148
0.210	3.495	4.206	2.251
0.323	4.834	5.708	4.679
0.429	10.288	5.981	4.903
0.507	10.541	7.248	6.403
0.675	11.259	10.089	9.515
0.749	12.675	12.349	12.232
0.834	23.160	17.627	15.734
0.968	49.524	34.838	37.200

APENDICE C

DATOS EXPERIMENTALES DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO AJUSTADA DE LOS
PRODUCTOS PARA LAS ISOTERMAS DE ABSORCIÓN.

MCDS (gr H ₂ O/ 100 gr ss) a 32°C			
AW	CEREAL	TOSTITO	CACHITO
0.000	2.906	0.000	0.000
0.073	4.416	3.427	2.051
0.210	5.510	4.430	3.209
0.323	6.631	5.316	4.218
0.429	7.978	6.346	5.320
0.507	9.766	7.698	6.712
0.675	12.372	9.649	8.689
0.749	16.639	12.789	11.893
0.834	25.044	18.777	18.219
0.968	49.638	34.894	37.174

MCDS (gr H ₂ O/ 100 gr ss) a 15°C			
AW	CEREAL	TOSTITO	CACHITO
0.000	0.000	0.000	0.000
0.095	2.245	4.294	2.938
0.234	4.342	5.387	4.206
0.330	6.508	6.411	5.296
0.431	8.959	7.651	6.524
0.553	11.988	9.330	8.123
0.709	16.093	11.828	10.457
0.756	22.314	16.024	14.351
0.859	33.374	24.639	22.377
0.981	59.665	52.703	49.171

APENDICE D

CUESTIONARIO TÍPICO PARA PRUEBA DE ESCALA HEDÓNICA

PRACTICAS DE EVULACION SENSORIAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

NOMBRE: _____

FECHA: _____

FACULTAD: _____

Producto: **XXXXX**

Pruebe las muestras de cereal que se presentan e indique,
según la escala, su opinión sobre ellas

Marque con una X el renglón que corresponda
a la calificación para cada muestra

MUESTRAS

ESCALA	5570	0772	0813	7361	4227
Me gusta mucho					
Me gusta					
Me gusta ligeramente					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta ligeramente					
Me disgusta					
Me disgusta mucho					

Comentarios: _____

MUCHAS GRACIAS

CUESTIONARIO TÍPICO PARA PRUEBA DE COMPARACIONES MÚLTIPLES

PRACTICAS DE EVULACION SENSORIAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

NOMBRE: _____

FECHA: _____

FACULTAD: _____

Producto: XXXXX

Frente a usted hay cinco muestras de tostito
Para que las compare en cuanto al **color**

Una de las muestras esta marcada con **R** y las otras tiene claves
Prueba cada una de las muestras y compárela con **R**, e indique su respuesta a
Continuación, marcando con una **X** donde corresponda

LA MUESTRA PRESENTA	7686	9235	7379	6239	9440
Mas color q R	_____	_____	_____	_____	_____
Igual color que R	_____	_____	_____	_____	_____
Menos color que R	_____	_____	_____	_____	_____
<u>Indique cual es la diferencia</u>					
Nada	_____	_____	_____	_____	_____
Ligera	_____	_____	_____	_____	_____
Moderada	_____	_____	_____	_____	_____
Mucha	_____	_____	_____	_____	_____
Muchísima	_____	_____	_____	_____	_____

Comentarios: _____

APENDICE E

GANANCIA DE HUMEDAD DE CADA UNO DE LOS PRODUCTOS EMPLEADA EN LAS EVALUACIONES SENSORIALES

Cachito a 32°C y 80 % HR			
Muestra	Wi (gr)	We (gr)	MCDS (gr H ₂ O/100 gr ss)
A	0.630	0.638	3.440
B	0.630	0.646	4.737
C	0.630	0.654	6.034
D	0.630	0.662	7.331
E	0.630	0.670	8.628

Tostito a 32°C y 80 % HR			
Muestra	Wi (gr)	We (gr)	MCDS (gr H ₂ O/100 gr ss)
A	1.550	1.556	3.576
B	1.550	1.562	3.976
C	1.550	1.628	8.369
D	1.550	1.640	9.168
E	1.550	1.687	12.296

Cereal a 32°C y 80 % HR			
Muestra	Wi (gr)	We (gr)	MCDS (gr H ₂ O/100 gr ss)
A	0.37	0.378	5.546
B	0.37	0.386	7.780
C	0.37	0.398	11.130
D	0.37	0.402	12.247
E	0.37	0.41	14.481

APÉNDICE F

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA

- Primeramente se obtienen los grados de libertad

$GL_v =$ Grados de libertad de la variable = $m - 1$

$GL_j =$ Grados de libertad de los jueces = $n - 1$

$GL_t =$ Grados de libertad totales = $(n)(m) - 1$

$GL_r =$ Grados de libertad del residual = $GL - GL_v - GL_j$

Donde $m =$ niveles de la variable bajo el estudio (para nuestro caso fue de 5 en todas las muestras) y $n =$ numero de jueces

- A continuación se obtiene la suma de los cuadrados

$SC_v =$ Suma de cuadrados de las variables

$$= [(T_{c1})^2 + T_{c2}^2 + \dots T_{cm}] / n - FC$$

$SC_j =$ Suma de cuadrados de jueces

$$= [(T_{r1})^2 + T_{r2}^2 + \dots T_{rm}] / m - FC$$

$SC_t =$ Suma de cuadrados totales

= Suma de cada observación al cuadrado - FC

$$= [(X_{11})^2 + (X_{12})^2 + (X_{13})^2 + \dots + (X_{nm})^2] - FC$$

$SC_r =$ Suma de cuadrados del residual

$$= SC_t - SC_j - SC_v$$

Donde

$T_{ri} =$ Totales de cada renglón, $i = 1, 2, \dots, n$

$T_{cj} =$ totales de cada columna, $j = 1, 2, \dots, m$

$FC =$ Factor de correccion = $TT^2 / [(n)(m)]$, TT es el total de todas las observaciones = $\sum X_{ij}$

- Después se calcula la varianza, la que se obtiene dividiendo la suma de los cuadrados entre los gados de libertad correspondiente

$V_v =$ Varianza debida ala variable = SC_v / GL_v

$V_j =$ Varianza debida los jueces = SC_j / GL_j

$V_r =$ Varianza de residual = SC_r / GL_r

- Luego se obtiene el valor de F calculadas

$$F_v = V_v / V_r$$

$$F_j = V_j / V_r$$

- Finalmente se compara con la F de las tablas (F_t) que se la puede observar el (apéndice J), correspondiente a un nivel de significancia de 5%, con los grados de libertad de a fuente de variación bajo consideración (ya sea GL_v o GL_j), como grados de libertad del numerador, y GL_r como grados de libertad del denominador. Si $F < F_t$, entonces no hay efecto significativo de la fuente de variación considerada sobre los resultados; en cambio si es mayor o igual, si hay diferencia significativa y en este caso puede obtenerse la diferencia mínima significativa mediante la prueba de Tukey.

APÉNDICE G

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PRODUCTOS POR EL MÉTODO DE ESCALA

HEDÓNICA

Cereal

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
Variables	4	45.440	11.360	10.347
Jueces error	29	29.340	1.012	0.921
Total	116	127.360	1.098	
	149	202.14		

Cachito

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
Variables	4	39.373	9.843	5.310
Jueces error	29	60.240	2.077	1.121
Total	116	215.027	1.854	
	149	314.64		

Tostito

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
Variables	4	61.907	15.477	8.779
Jueces error	29	59.873	2.065	1.171
Total	116	204.493	1.763	
	149			

Total	149	326.27
-------	-----	--------

APÉNDICE H

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PRODUCTOS POR EL MÉTODO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES

Tostito sabor

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
muestras	4	150.240	37.560	21.509
Jueces	29	73.073	2.520	1.443
error	116	202.560	1.746	
Total	149	425.87		

Tostito color

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
muestras	4	43.827	10.957	6.349
Jueces	29	45.260	1.561	0.904
error	116	200.173	1.726	
Total	149	289.26		

Cachito sabor

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
muestras	4	214.440	53.610	23.312
Jueces	29	172.540	5.950	2.587
error	116	266.760	2.300	
Total	149	653.74		

Cachito color

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
muestras	4	251.160	62.790	70.008
Jueces	29	128.560	4.433	4.943
error	116	104.040	0.897	
Total	149	483.76		

Cereal color

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	F
muestras	4	21.827	5.457	3.181
Jueces	29	89.360	3.081	1.796
error	116	198.973	1.715	
Total	149	310.16		

APÉNDICE I**ANÁLISIS DE F_T Y F_V POR EL MÉTODO DE ESCALAS HEDÓNICAS**

	F_t	F_v
Cachito	2.455	8.779
Tostito	2.455	5.31
Cereal	2.455	10.347

ANÁLISIS DE F_T Y F_V POR EL MÉTODO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES

		F_t	F_v
Tostito	sabor	2.455	21.509
	color	2.455	6.349
Cachito	sabor	2.455	23.312
	color	2.455	70.008
Cereal	color	2.455	3.18

APÉNDICE J

PROCEDIMIENTO PARA ENCONTRAR LA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA MÍNIMA (DMS).

PRUEBA DE TUKEY

1. Calcular las medias para cada una de las variables o tratamientos;
2. Ordenar las medias de mayor a menor;
3. Calcular el error estándar (E);

$$E = (\text{Varianza Residual} / \text{N}^\circ \text{ de Jueces})^{0.5}$$

4. Calcular la Diferencia Mínima Significativa (DMS)

$$\text{DSM} = E * (\text{RES})$$

Donde el Rango Estudentizado Significativo (RES) se lo obtiene de la tabla del (apéndice L) con el número de la variable y los grados de libertad del error;

5. Finalmente comparar las diferencias entre las medias y aquellas diferencias que sean mayores a D.M.S. para considerarla significativa

APÉNDICE k

CONTEO DE MICROORGANISMOS DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS

CACHITO 32°C		
Aw	Aerobios Mesofilos (ufc/gr)	Mohos y levaduras (ufc/gr)
0.41	2	0
0.49	3	7
0.60	12	0
Limites Máximos	10^4	10^2

TOSTITO 32°C		
Aw	Aerobios Mesofilos (ufc/gr)	Mohos y levaduras (ufc/gr)
0.21	5	0
0.26	4	0
0.64	13	1
Limites Máximos	10^4	10^2

CEREAL 32°C		
Aw	Aerobios Mesofilos (ufc/gr)	Mohos y levaduras (ufc/gr)
0.22	0	0
0.42	0	1
0.59	2	0
Limites Máximos	10^4	10^2

APÉNDICE L

GANANCIA DE PESO DE LOS PRODUCTOS COLOCADOS DENTRO DE FUNDAS ELABORADAS CON PELÍCULA PLÁSTICA TIPO A Y B

CACHITO a 32 °C y 80% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	2.422	2.584	2.733	2.889
2	2.509	2.603	2.734	2.889
5	2.572	2.635	2.734	2.9
7	2.602	2.656	2.737	2.905
9	2.610	2.668	2.737	2.907
13	2.624	2.706	2.745	2.917
22	2.637	2.726	2.749	2.927
Peso Funda	0.559	0.562	0.887	0.886
Peso muestra	1.863	2.022	1.846	2.003

CACHITO a 14 °C y 62% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	2.158	2.350	2.786	2.762
4	2.167	2.415	2.795	2.762
6	2.169	2.440	2.795	2.763
8	2.172	2.456	2.799	2.763
12	2.178	2.478	2.804	2.765
21	2.188	2.509	2.816	2.764
Peso Funda	0.548	0.552	0.961	0.884
Peso muestra	1.61	1.798	1.825	1.878

TOSTITO a 32 °C y 80% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	3.69	3.482	3.977	3.732
2	3.702	3.506	3.978	3.732
5	3.728	3.548	3.978	3.732
7	3.744	3.57	3.978	3.733
9	3.758	3.59	3.978	3.733
13	3.786	3.626	3.979	3.735
22	3.828	3.67	3.981	3.735
Peso Funda	0.344	0.336	0.628	0.628
Peso muestra	3.346	3.146	3.349	3.104

TOSTITO a 15 °C y 62% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	3.803	3.708	4.034	4.255
2	3.806	3.712	4.037	4.257
5	3.809	3.714	4.039	4.257
7	3.81	3.717	4.039	4.257
9	3.812	3.719	4.041	4.257
13	3.817	3.725	4.044	4.261
22	3.824	3.731	4.047	4.263
Peso Funda	0.351	0.358	0.676	0.673
Peso muestra	3.452	3.35	3.358	3.582

CEREAL a 32 °C y 80% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	4.850	4.425	4.632	5.027
4	4.882	4.458	4.632	5.027
6	4.899	4.474	4.633	5.028
8	4.915	4.490	4.633	5.028
12	4.949	4.526	4.634	5.030

21	5.002	4.575	4.636	5.035
Peso Funda	0.351	0.354	0.617	0.613
Peso muestra	4.499	4.071	4.015	4.414

CEREAL a 14 °C y 62% HR				
Tiempo (días)	Muestra+ Funda A (gr)		Muestra+ Funda B (gr)	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
0	4.646	4.550	5.012	4.884
4	4.652	4.551	5.015	4.885
6	4.653	4.552	5.015	4.885
8	4.655	4.553	5.015	4.885
12	4.658	4.559	5.015	4.886
21	4.667	4.564	5.016	4.888
Peso Funda	0.328	0.352	0.625	0.617
Peso muestra	4.318	4.194	4.387	4.267

APÉNDICE M

CONTENIDO DE HUMEDAD NO COMPLETADO A UN TIEMPO T. DE CADA UNO DE LOS PRODUCTOS A TEMPERATURAS AMBIENTE

	m				l				ln		Días
	A		B		A		B		A	B	
	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	0	0	
Cachito 32°C 83 % RH	6.866	3.057	2.153	2.098	1.226	1.089	1.061	1.059	0.148	0.058	0
	9.952	4.649	2.153	2.659	1.366	1.143	1.061	1.077	0.223	0.066	2
	11.227	5.644	2.319	2.909	1.433	1.179	1.066	1.084	0.270	0.072	5
	11.493	6.194	2.319	3.008	1.448	1.200	1.066	1.088	0.278	0.074	7
	12.153	8.013	2.760	3.513	1.486	1.275	1.080	1.104	0.322	0.088	9
	12.728	8.860	2.977	4.008	1.521	1.313	1.087	1.120	0.350	0.098	13
Cachito 15°C 68 % RH	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	2.669	5.789	2.601	2.098	1.012	1.085	1.011	1.000	0.048	0.005	4
	2.792	7.030	2.599	2.155	1.015	1.117	1.011	1.001	0.064	0.006	6
	2.980	7.830	2.822	2.155	1.019	1.139	1.016	1.001	0.076	0.008	8

	3.355	8.962	3.098	2.268	1.027	1.171	1.022	1.004	0.094	0.013	12
	3.977	10.527	3.760	2.211	1.042	1.218	1.037	1.002	0.122	0.020	21
Tostito 32°C 83 % RH	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.449	3.865	3.110	3.079	1.012	1.025	1.001	1.000	0.019	0.000	2
	4.245	5.225	3.110	3.079	1.038	1.072	1.001	1.000	0.053	0.000	5
	4.724	5.903	3.110	3.112	1.055	1.097	1.001	1.001	0.073	0.001	7
	5.141	6.521	3.110	3.112	1.069	1.121	1.001	1.001	0.091	0.001	9
	5.978	7.641	3.141	3.179	1.100	1.167	1.002	1.003	0.125	0.003	13
	7.212	8.969	3.202	3.179	1.149	1.227	1.004	1.003	0.172	0.004	22
Tostito 15°C 68 % RH	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.169	3.202	3.163	3.132	1.002	1.002	1.002	1.001	0.002	0.001	2
	3.258	3.263	3.219	3.132	1.004	1.004	1.003	1.001	0.004	0.002	5
	3.288	3.355	3.219	3.132	1.004	1.006	1.003	1.001	0.005	0.002	7
	3.347	3.417	3.275	3.132	1.005	1.007	1.004	1.001	0.006	0.003	9
	3.496	3.600	3.359	3.238	1.008	1.011	1.006	1.003	0.009	0.004	13
	3.704	3.783	3.443	3.290	1.013	1.014	1.007	1.004	0.013	0.006	22

	m				l				In		Días
	A		B		A		B		A	B	
	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	0	0	
	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.940	4.043	3.206	3.206	1.016	1.018	1.000	1.000	0.017	0.000	4
	4.322	4.438	3.232	3.229	1.025	1.027	1.001	1.001	0.025	0.001	6
	4.681	4.834	3.232	3.229	1.033	1.036	1.001	1.001	0.034	0.001	8
	5.445	5.726	3.257	3.276	1.051	1.057	1.001	1.002	0.052	0.001	12
	6.618	6.917	3.309	3.393	1.079	1.087	1.002	1.004	0.079	0.003	21
Cereal 32°C 83 % RH	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.349	3.231	3.277	3.230	1.003	1.000	1.001	1.000	0.017	0.000	4
	3.373	3.255	3.277	3.230	1.003	1.001	1.001	1.000	0.025	0.001	6
	3.421	3.280	3.277	3.230	1.004	1.001	1.001	1.000	0.034	0.001	8
	3.492	3.427	3.277	3.254	1.005	1.004	1.001	1.001	0.052	0.001	12
	3.707	3.549	3.300	3.303	1.009	1.006	1.002	1.002	0.079	0.003	21
Cereal 15°C 68 % RH	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.349	3.231	3.277	3.230	1.003	1.000	1.001	1.000	0.017	0.000	4
	3.373	3.255	3.277	3.230	1.003	1.001	1.001	1.000	0.025	0.001	6
	3.421	3.280	3.277	3.230	1.004	1.001	1.001	1.000	0.034	0.001	8
	3.492	3.427	3.277	3.254	1.005	1.004	1.001	1.001	0.052	0.001	12
	3.707	3.549	3.300	3.303	1.009	1.006	1.002	1.002	0.079	0.003	21

APÉNDICE N

Contenido de humedad no completado a un tiempo t. Para cada uno de lo volúmenes de producto a empacar para la determinación del tiempo de vida útil

	m		l		In	Tiempo
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2	Gamma	Días
Volumen 1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.447	0.241	1.005	0.940	0.005	2
	4.969	1.556	1.039	0.966	0.039	4
	5.654	2.392	1.056	0.983	0.054	6
	7.127	4.094	1.092	1.020	0.089	11
	7.690	4.080	1.107	1.019	0.102	14
Volumen 2	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.747	3.017	1.012	0.996	0.004	2
	5.898	5.100	1.062	1.043	0.051	4
	6.547	6.176	1.078	1.068	0.071	6
	8.096	7.613	1.118	1.105	0.105	11
	9.054	8.819	1.144	1.138	0.131	14
Volumen 3	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.747	3.017	1.012	0.996	0.004	2
	5.898	5.100	1.062	1.043	0.051	4
	6.547	6.176	1.078	1.068	0.071	6
	8.096	7.613	1.118	1.105	0.105	11
	9.054	8.819	1.144	1.138	0.131	14

APÉNDICE O

Contenido de humedad no completado a un tiempo t. Para cada uno de lo volúmenes de producto a empacar para la determinación del tiempo de vida útil

	m		l		In	Tiempo
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2		Días
TOSTITO						
Funda 1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.927	4.135	1.027	1.034	0.031	2
	5.938	6.344	1.099	1.114	0.101	6
	6.378	6.755	1.116	1.131	0.116	8
	7.839	8.328	1.176	1.198	0.171	13
	8.095	8.875	1.187	1.223	0.186	16
Funda 2	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	4.028	3.869	1.031	1.025	0.027	2
	6.321	5.961	1.113	1.100	0.101	6
	6.885	6.531	1.136	1.122	0.121	8
	8.123	7.913	1.188	1.179	0.168	13
	8.529	8.618	1.207	1.211	0.189	16
Funda 3	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	3.741	4.016	1.021	1.030	0.026	2
	5.808	5.898	1.094	1.097	0.092	6
	6.069	6.662	1.104	1.127	0.109	8
	7.472	8.249	1.160	1.194	0.162	13
	7.722	8.806	1.171	1.220	0.178	16

	m		l		In	Tiempo
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2		Días
TOSTITO						
Funda 4	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	4.097	4.013	1.033	1.030	0.031	2
	5.680	6.220	1.089	1.110	0.094	6
	6.120	6.801	1.106	1.133	0.112	8
	7.381	8.225	1.156	1.193	0.161	13
	7.643	8.788	1.167	1.219	0.176	16

Funda 5	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	6.824	4.154	1.133	1.035	0.061	2
	5.436	6.354	1.080	1.115	0.092	6
	5.783	6.926	1.093	1.138	0.108	8
	7.361	8.655	1.156	1.213	0.168	13
	7.608	9.032	1.166	1.230	0.181	16

CACHITO	m		l		In	Tiempo
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2		Días
Funda 1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	4.870	7.642	1.086	1.188	0.128	2
	8.395	10.424	1.219	1.312	0.236	6
	8.615	10.606	1.229	1.321	0.243	8
	9.885	12.689	1.286	1.434	0.307	13
	11.069	13.304	1.344	1.471	0.341	16
Funda 2	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	6.486	3.318	1.143	1.036	0.086	2
	8.975	6.520	1.244	1.144	0.177	6
	10.376	7.164	1.310	1.169	0.214	8
	12.580	8.286	1.427	1.215	0.278	13
	13.864	10.128	1.506	1.298	0.338	16
Funda 3	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	6.486	3.318	1.143	1.036	0.086	2
	8.975	6.520	1.244	1.144	0.177	6
	10.376	7.164	1.310	1.169	0.214	8
	12.580	8.286	1.427	1.215	0.278	13
	13.864	10.128	1.506	1.298	0.338	16

CACHITO	m		l		In	Tiempo
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2		Días
Funda 4	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	1.630	4.347	0.987	1.069	0.027	2
	3.807	6.939	1.051	1.160	0.100	6
	5.445	7.675	1.106	1.189	0.138	8
	7.038	9.755	1.164	1.280	0.200	13

	7.770	10.433	1.193	1.312	0.225	16
Funda 5	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0
	4.949	6.596	1.089	1.147	0.111	2
	7.914	9.421	1.199	1.264	0.208	6
	8.180	9.630	1.210	1.274	0.216	8
	9.885	12.099	1.286	1.400	0.294	13
	11.032	13.487	1.342	1.482	0.345	16

BIBLIOGRAFIA

1. R. GUY, Campden and Chorleywood Food Research Association, Chipping Campeen, pag 88- 90,161,109-113.
2. N. LARA, Investigación y Desarrollo de nuevas Alternativas Alimenticias para consumo humano, basadas en maíz, banano, plátano y quinua, Informe Final Proyecto Alianza Estratégica Internacional. Convenio INIAP-PROMSA, No. AQ-CV-012, Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP, Quito, Ecuador
3. C. MILLAR ROBERT, Características de Producto Terminado, Consulting Engineering, Aunburn, NY.
4. M SOLINA, Generations of Aromas in Extruded Products, 10 th World Congress of Science and Technology, Sydney, 1999.

5. W, BREADDIE, Aroma Volatiles Generated During Extrusion Cooking of maize flour, J Agricultural and Food Chemistry, 1998 46, 1487-97.
6. M. PELEG Extrudates cell structure- texture relations-ships, J Food Sci, 1992 , Pag 1253-6
7. M. BOUVIER, Effect of Ingredients on Physical/structural Properties of extrudates, J Food Sci, 1990, Pag 1383-7.
8. M. PRIETO JUDIHt, Comparative Study of Chemistry and Physics Characteristics of kellogg's Cereals. Santiago de Chile, Abril 2005.
9. H CHARLEY, Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos, Tecnología de alimentos, Editorial Limusa, Noriega Editores. (2000), p.p 189-197.
10. PELZAR MICHAEL, Microbiología, Editorial Mc Graw – Hill, 2ª edición, México, S.A.
11. BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, Aspectos generales sobre el mercado para productos alimenticios nacionales. Cereales, molinería y panadería

12. R. SINGH, Introducción a la Ingeniería de los Alimentos, Ed. Acribia. S.A. Zaragoza España. (1998), Pag 456-458.
13. M. SHAFIUR RAHMAN, Horticulture and Food Research Institute of New Zealand, Auckland, New Zealand, The University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, Pag 349-350, 373.
14. FENNEMA, Química de Alimentos, Acribia, Zaragoza, 2000, Pag (59-71)
15. S. GAL, Physical Properties of Foods, London (1987), Vol -2, Pag 3-25.
16. J. RUBEN Dr, Determination and Prediction of Shel Life of Moisture-sensitive Post , April 2002, Pag 9,10
17. Labuza, Sorption phenomena in Food, Food Technology,(1968), Pag 23,15- 19.
18. C.VAN DEN BERG, Vapor Sorption Equilibrium and other Water- Starch Interactions; a physico-chemical approach. Doctoral Thesis Wageningen, The Netherland, Agricultural University, (1981)

19. ZUG JUAN PABLO, Isotermas de Adsorción, Bases Mecánico Estadísticas, Curso de Termodinámica Estadística, Departamento de Química -Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
20. A. SCHIAPPACASSE EDUARDO, El agua: Extraña y vital, Centro de Estudios Ecológicos, Argentina, 1994.
21. W. TODD Variable that Affect/Control High-Density Polyethylene film Oxygen-Moisture, Barrier. Journal of Plastic Film & Sheeting, 2003, Pag. 209-200.
22. R. DIAZ, Isotermas de Adsorción de Cereales. Primer Taller sobre Productos de Humedad Intermedia. Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo V Centenario CYTED – D Sub programa Tratamiento y Conservación de Alimentos. Número 1, (1986), Pag 10-17.
23. MOUNTS MIKE, Introducción a los Sistemas de Barrera Saran, The Dow Chemical Company.

24. BADUI DERGAL SALVADOR, Quimica de los alimentos, Person Educacion, Editorial Alhambra S.A. 1999.

25. LABUZA, Theory Determination and Control of Physical Properties of Food Materials, Edited by Chokyun RHAD, Reydel Publishing Company,USA, Pag 215.

26. LABUZA. Prediction of Moisture Protection Requirements for Foods, Cereal Food World , Pag 26.