

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS
ACELERADAS (ASLT) DE UN PRODUCTO EXTRUIDO
ENRIQUECIDO CON CONCENTRADO PROTEICO DE POTA
(*DOSIDICUS GIGAS*)”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO PESQUERO**

Presentado por:

JORDAN JESÚS VITO VILLA

LIMA – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA

“DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS
ACELERADAS (ASLT) DE UN PRODUCTO EXTRUIDO ENRIQUECIDO
CON CONCENTRADO PROTEICO DE POTA (*DOSIDICUS GIGAS*)”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

Presentada por:

JORDAN JESÚS VITO VILLA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado

M.Sc. Raúl Porturas Olaechea
Presidente

Ing. Domingo Sanchez Amado
Miembro

M.Sc. David Roldan Acero
Miembro

Dra. Fabiola Olivares Ponce
Patrocinadora

Ing. Nancy Martínez Ordinola
Copatrocadora

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, por ser fuente de fortaleza, inspiración y bendición en el proceso de obtención de este logro tan deseado.

A mis padres, Sonia Villa Montes y Jesús Vito Hinostroza, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, porque gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanos, Joan Vito Villa y Magaly Vito Villa, por estar siempre presentes y brindarme su aliento incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mis patrocinadores, la Dra. Fabiola Olivares Ponce, y la Ing. Nancy Martínez Ordinola, por su apoyo incondicional en la realización del presente trabajo de investigación, y por guiarme en la búsqueda del conocimiento.

A mis jurados, el M.Sc. Raúl Porturas Olaechea, el M.Sc. David Roldan Acero, y el Ing. Domingo Sanchez Amado, por su tiempo, recomendaciones y apoyo.

A Tatiana LLaro, por todo su apoyo a lo largo de la realización del presente trabajo de investigación.

Al Sr. Ernesto Apestegui, por su colaboración y las facilidades brindadas para la utilización de los laboratorios de la facultad de Pesquería

Al Laboratorio de Calidad Total, Corporación Montana, por facilitar su laboratorio, y por la ayuda brindada.

Por último, a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

Índice General

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Concentrado proteico de pota (CPP).....	3
2.2. Generalidades sobre los bocaditos o “snacks”	5
2.3. Extrusión	6
2.4. Vida en anaquel de los alimentos en productos extruidos tipo snack.....	8
2.4.1. Factores que afectan la vida en anaquel de los snacks	9
2.4.2. Empaques en la industria de los snacks.....	20
2.4.3. Determinación de vida en anaquel de “snacks” alimento.....	22
2.5. Vida útil en alimentos empacados	26
2.6. Pruebas aceleradas	27
2.7. Reacciones cinéticas para predecir la pérdida de calidad en alimentos.....	28
2.7.1. Orden de reacción.....	28
2.7.2. Dependencia de la velocidad de deterioro de la temperatura	37
III. METODOLOGÍA.....	45
3.1. Lugar de ejecución.....	45
3.2. Materiales y equipos	45
3.2.1. Producto y envases	45
3.2.2. Materiales de laboratorio.....	46
3.2.3. Reactivos y otros	46
3.2.4. Equipos	46
3.3. Métodos de análisis.....	46
3.3.1. Determinación de la vida útil del extruido, por pruebas aceleradas	49
3.3.2. Predicción del tiempo de vida útil en alimentos empacados sensibles a la humedad.....	51

3.3.3	Determinación de la máxima estabilidad mediante isothermas de adsorción (actividad de agua)	52
3.3.4	Análisis químicos	52
3.3.5	Análisis microbiológico.....	53
3.4	Análisis estadístico	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
4.1.	Caracterización del extruido	54
4.2.	Determinación de la vida útil del snack extruido tipo pop, por pruebas aceleradas ...	55
4.2.1	Indicador de deterioro	55
4.2.2.	Selección del descriptor crítico sensorial	58
4.2.3.	Determinación del tiempo límite en función al valor límite del descriptor crítico sensorial	63
4.2.4.	Determinación de orden de reacción	64
4.2.5.	Determinación de la humedad crítica, mediante la relación del descriptor crítico sensorial y la humedad	69
4.2.6.	Determinación de los valores de k (constante de velocidad).....	70
4.2.7.	Estimación de la vida útil	73
4.2.8.	Valor Q10	74
4.3.	Estimación de la vida útil en alimentos empacados sensibles a humedad.....	75
4.4.	Determinación de la máxima estabilidad mediante la isoterma de sorción	78
4.5.	Análisis químico	83
4.6.	Análisis microbiológico.....	83
4.7.	Análisis estadístico	85
V.	CONCLUSIONES	86
VI.	RECOMENDACIONES	87
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	88
VIII.	ANEXOS	97

Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1: Características físico, químicas y microbiológicas de concentrado proteico de pescado	4
Cuadro 2: Composición proximal del CPP	5
Cuadro 3: Actividad microbiana según su actividad de agua para diferentes tipos de alimentos	13
Cuadro 4: Ecuación para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción	29
Cuadro 5: Factores de calidad que controlan la vida útil de algunos alimentos.....	37
Cuadro 6: Tiempo de vida en anaquel, modo de deterioro y factores ambientales críticos de algunos productos alimenticios	42
Cuadro 7: Resultados de los análisis realizados al extruido enriquecido con concentrado proteico de pota al inicio de la experimentación.	54
Cuadro 8: Análisis de dos vías para los tres tipos de empaques a la temperatura 35 °C	57
Cuadro 9: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 35 °C, para los 3 tipos de empaques.....	58
Cuadro 10: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 45°C, para los 3 tipos de empaques.....	58
Cuadro 11: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 55 °C, para los 3 tipos de empaques.....	59
Cuadro 12: Ecuaciones de regresión del atributo textura, valor límite y tiempo límite para los 3 empaques	64
Cuadro 13: Coeficientes de determinación lineal del Modelo de Labuza (Orden Cero) del factor de calidad humedad para cada empaque, en función a la temperatura.	65
Cuadro 14: Valores de humedad realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque polipropileno biorientado metalizado.....	66
Cuadro 15: Valores de humedad realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque polipropileno.....	67
Cuadro 16: Valores de humedad, realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque coextruido polietileno-poliamida	68
Cuadro 17: Ecuaciones de regresión de humedad vs tiempo, tiempo límite y humedad critica promedio para los 3 empaques a 35 °C.	69
Cuadro 18: Valores de tiempo y K para la construcción de la gráfica de Arrhenius	70

Cuadro 19: Constantes y valores determinados para obtención de la constante de la velocidad de reacción a temperatura ambiente 20 °C	73
Cuadro 20: Tiempo de vida útil para cada empaque estudiado a temperatura ambiente (20 °C)	74
Cuadro 21: Valor de Q10 para los tres tipos de empaques en los rangos de temperatura de 35-45 y 45-55 °C.....	75
Cuadro 22: Resultado de análisis realizados a los empaques usados	76
Cuadro 23: Estimación de la vida útil mediante la metodología de permeabilidad	77
Cuadro 24: Parámetros del modelo matemático de sorción GAB obtenidos del snack extruido	82
Cuadro 25: Valor peróxido de los tres tipos de empaques a las temperaturas de 35, 45, 55 °C de almacenamiento	83
Cuadro 26: Resultados de recuentos microbiológicos para los tres empaques	84

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1: Mapa de estabilidad alimentaria en función de la actividad del agua.....	18
Figura 2: Pérdida constante de vida en anaquel	32
Figura 3: Degradación de primer orden.....	34
Figura 4: Ploteosemilogaritmico de primer orden	35
Figura 5: Pérdida de calidad de un alimento mostrando dos órdenes diferentes de reacción ...	36
Figura 6: Ploteo de Arrhenius.....	39
Figura 7: Ploteo de la vida en anaquel.....	40
Figura 8: Esquema de experimentación para la determinación del tiempo de vida en anaquel de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota.....	47
Figura 9: Diagrama de flujo para la determinación del tiempo de vida en anaquel de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota.....	48
Figura 10: Desarrollo de la humedad en los tres tipos de empaques en condiciones de 35, 45, 55 °C de almacenamiento	56
Figura 11: Evolución de los descriptores sensoriales del snack extruido, durante el almacenamiento a 35, 45, 55 °C para el empaque polipropileno	61
Figura 12: Evolución de los descriptores sensoriales del snack extruido, durante el almacenamiento a 35, 45, 55 °C para el empaque coextruido polietileno-poliamida	62
Figura 13: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque polipropileno biorientado metalizado	66
Figura 14: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque polipropileno	67
Figura 15: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque coextruido polietileno-poliamida	68
Figura 16: Gráfica de Arrhenius para el empaque polipropileno biorientado metalizado	71
Figura 17: Gráfica de Arrhenius para el empaque polipropileno.	71
Figura 18: Gráfica de Arrhenius para el empaque coextruido polietileno-poliamida.	72
Figura 19: Desarrollo de la activad de agua (aw) en los tres tipos de empaques en condiciones de 35, 45, 55 °C de almacenamiento	79
Figura 20: Isoterma de sorción del snack extruido a 25 °C.....	81

Índice de anexos

	Pág.
ANEXO 1: Cartilla de evaluación sensorial de karlsruhe para snack extruido a base de maíz enriquecido con concentrado proteico de pota	98
ANEXO 2: Resultados de la evaluación sensorial realizada al snack extruido a base de maíz enriquecido con concentrado proteico de pota de los tres empaques (valores promedios de los jueces).....	99
ANEXO 3: Metodología de medición para transmisión de vapor de agua (Método gravimétrico, según ISO 2528:1995).....	100
ANEXO 4: Análisis de dos vías de los resultados experimentales para el factor de calidad humedad en los tres empaques a las temperaturas de 35, 45, 55 °C	102

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS (ASLT) DE UN PRODUCTO EXTRUIDO ENRIQUECIDO CON CONCENTRADO PROTEICO DE POTA (DOSIDICUS GIGAS)

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el tiempo de vida útil de un producto extruido elaborado con cereales andinos y enriquecido con concentrado proteico de pota (*Dosidiscus gigas*) mediante el uso de pruebas aceleradas de vida útil (accelerated shelf-life tests, ASLT) bajo condiciones controladas de temperatura de 35 °C, 45 °C y 55 °C, y de humedad relativa de 85 %, utilizando los empaques #1, #2 y #3 que corresponden a Polipropileno Biorientado Metalizado, Polipropileno y Coextruido Polietileno-Poliamida, respectivamente. La inaceptabilidad del producto se determinó evaluando los atributos de color, apariencia, olor, sabor y textura, encontrándose al atributo textura, como el de mayor influencia en la pérdida de calidad sensorial. El factor de calidad crítico de deterioro durante el almacenamiento del producto fue el contenido de humedad, el cual presentó un comportamiento cinético de orden cero. Se determinó las constantes de velocidad de reacción a cada temperatura, y se extrapoló a temperatura ambiente (20 °C) y esta constante extrapolada se reemplazó en la ecuación de pérdida de calidad. Se estimó que a 20 °C el tiempo de vida útil del producto fue de 150, 125, y 67 días para los empaques #1, #2 y #3, respectivamente. Asimismo, el tiempo de vida útil del producto también se determinó mediante la ganancia de humedad durante el almacenamiento, de acuerdo a la Ley de Fick y a la Ley de Henry, resultando 161, 127 y 72 días para los empaques #1, #2, y #3, respectivamente. La máxima estabilidad del producto se determinó mediante la isoterma de adsorción a (25 °C), detectándose que la isoterma de sorción es de tipo II, la cual se ajusta mejor al modelo Guggenheim, Anderson y de Boer ($r_2 > 0.96$) con valor de la monocapa (X_m) de 11.96 g/100 m.s.

Palabras claves: Extruido, pruebas aceleradas, vida útil, isotermas, empaque

**DETERMINATION OF THE SHELF-LIFE WITH ACCELERATED TESTS (ASLT)
OF AN EXTRUDED PRODUCT ENRICHED WITH PROTEIN CONCENTRATE OF
GIANT SQUID (*DOSIDICUS GIGAS*)**

SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the shelf-life of an extruded product made with andean cereals and enriched with giant squid (*Dosidicus gigas*) protein concentrate with the use of accelerated shelf-life tests (ASLT) under controlled conditions temperature of 35 °C, 45 °C and 55 °C, and of relative humidity of 85%, using Packaging # 1, Packaging # 2 and # Packaging 3 what correspond to Metallized Bioriented Polypropylene, Polypropylene, and Coextruded Polyethylene-Polyamide, respectively. The unacceptability of the product was determined by evaluating the attributes of color, appearance, smell, taste and texture, finding the attribute texture, as the most influential in the loss of sensory quality. The critical quality factor of deterioration during the storage of the product was the moisture content, which presented a zero-order kinetic behavior. The reaction rate constants were determined at each temperature, and extrapolated to room temperature (20 ° C) and this extrapolated constant was replaced in the quality loss equation. It was estimated that at 20 ° C the shelf-life of the product was 150, 125, and 67 days for packages # 1, # 2 and # 3, respectively. Also, the shelf-life of the product was determined by moisture gain during storage, according to the Fick Law and Henry's Law, resulting 161, 127 and 72 days for packages # 1, # 2, and # 3, respectively. The maximum stability of the product was determined by the adsorption isotherm at (25 ° C), detecting that the sorption isotherm is type II, which is better suited to the Guggenheim, Anderson and de Boer model ($r^2 > 0.96$) with value of the monolayer (X_m) of 11.96 g / 100 m.s.

Keywords: Extruded, accelerated tests, shelf-life, isotherms, packaging

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los consumidores están cada día incrementando la demanda por una alta y consistente calidad en los alimentos y han desarrollado expectativas para que esta sea mantenida a un alto nivel durante el periodo de compra y el consumo. Estas expectativas no son solo consecuencias de los requerimientos primarios para que el alimento permanezca seguro, sino que también son consecuencia de la necesidad de minimizar los cambios indeseados en la calidad sensorial.

La calidad de los aperitivos de cereales extruidos está influenciada por el contenido de grasa, la humedad, la temperatura y la luz durante el almacenamiento. La oxidación de los lípidos y la ganancia de humedad en bocadillos secos conducen al desarrollo de mal olor y mal sabor y textura pobre, respectivamente, y al rechazo del producto por parte de los consumidores (Labuza, 1980; citado por Shaviklo, 2011).

Los productos extruidos en general tienen un bajo contenido de humedad, y muchas veces un considerable contenido de grasa, por lo que deben ser protegidos del medio ambiente para extender su tiempo de vida y mantener sus características de calidad. Los empaques actúan como una barrera para la grasa y alguna protección contra la humedad, estos deben ser flexibles y fácilmente manipulables por las máquinas. (Sacharow, 1970; Brody, 1970).

La estabilidad y la vida en anaquel de los alimentos, es decir, el periodo en el cual mantendrán un nivel de calidad aceptable de consumo desde los puntos de vista de seguridad y sensorial, depende de cuatro factores principales; la formulación, el procesamiento, el empaque y las condiciones de almacenamiento (Labuza y Taoukis, 1990).

Por los conocimientos teóricos y prácticos de la ciencia, ingeniería y tecnología de alimentos, se conoce que uno de los factores que más incide en la pérdida de viabilidad de los alimentos, es su exposición a elevadas temperaturas ambientales. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la pérdida de calidad del alimento. Para predecir el tiempo de vida útil de la calidad de un alimento y establecer una fecha de vida en anaquel en el envase del producto alimenticio, es necesario el conocimiento de la velocidad de deterioro como una función de las condiciones ambientales (Taoukis *et al.*, 1997).

Por otro lado, la prueba acelerada de vida en anaquel (ASTL) consiste en experimentos a temperaturas relativamente altas, con el fin de predecir, con cierto margen de certidumbre, la vida en anaquel de alimentos en un periodo de tiempo mucho más corto que con métodos tradicionales. (Labuza y Schmidl, 1985)

El desarrollo de productos alimenticios con adecuados aportes de carbohidratos y proteínas utilizando los recursos naturales del país, como es el caso de la mezcla de algunos cereales con recursos hidrobiológicos, es un tema de gran interés y debe ser prioritario para atender la gran demanda de nutrientes de la población con deficiencia nutricional.

Una buena ayuda a la política alimentaria del País lo constituye el desarrollo y promoción de una serie de productos que incluyan la utilización de recursos nacionales como es el caso de los recursos hidrobiológicos no explotados de bajo valor comercial, como fuentes de proteína animal, y el de los tubérculos y cereales y leguminosas andinos como fuentes de proteína vegetal y carbohidratos.

Por lo anterior, el proyecto de investigación pretende estimar la vida útil de un producto extruido elaborado con cereales andinos y enriquecido con concentrado proteico de pota (*Dosidicus gigas*) que pueden ser destinados inicialmente a la población infantil de nuestro país.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Concentrado proteico de pota (CPP)

Lazo (2006), desarrolló una tecnología sencilla y de bajo costo para la obtención de harina de pota (*Dosidicus gigas*) precocida para consumo humano, utilizando solo el manto o tubo sin la primera piel. Este producto presenta buenas características sensoriales y nutricionales, que hace que sea un excelente insumo en la elaboración de alimentos enriquecidos, cuyo principal aporte es proteína de origen animal, además de ácidos grasos ricos en omega 3 y 6.

Las características organolépticas de la harina de pota precocida, fueron las siguientes: color blanco lechoso; nulo olor a pota; sabor suave y neutro; textura pulverulenta. Estas características se mantienen inalterables hasta los 90 días de almacenamiento, a temperatura ambiente. Asimismo, señala que la harina de pota precocida obtenida, luego de ser evaluada organolépticamente, fue calificada como del tipo A, es decir, presenta nulo sabor y olor a pescado y demás características presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Características físico, químicas y microbiológicas de concentrado proteico de pescado

Descripción	Tipo A	Tipo B
Proteína	Mínimo 75%	Mínimo 60%
Humedad	Máximo 10%	Máximo 10%
Grasa	Máximo 0.5%	Sin limite
Ceniza	Máximo 15%	Máximo 20%
Arena	Máximo 0.5%	Máximo 0.5%
Flúor	Máximo 250 ppm	Máximo 250 ppm
Lisina disponible (respecto a la proteína)	Mínimo 6.5%	Mínimo 6.5%
Bacterias totales/g	Máximo 10 ⁴	Máximo 10 ⁵
Bacterias coliformes/g (37 °C)	Ausencia	Máximo 10 ²
Bacterias coliformes/g (44 °C)	Ausencia	Máximo 10
Enterococos/g	Ausencia	Máximo 10 ²
<i>Salmonella</i> /g	Ausencia	Ausencia
Bacterias desdobladoras de lecitina/g	Ausencia	Máximo 10 ²
Clostridios sulfito reductores/g	Ausencia	Máximo 10 ²
Olor y sabor	Inodoro, insípido	Amplio margen

Fuente: Madrid *et al.* (1994)

En ese sentido la composición química proximal de la harina de pota precocida para consumo humano se muestra en el Cuadro 2, estos resultados fueron similares a los indicados en las especificaciones técnicas para los CPP del tipo A, la mayor diferencia se presentó en el contenido de proteínas y grasas.

Cuadro 2: Composición proximal del CPP

Componente	%
Proteínas	86.4
Grasas	2.70
Cenizas	4.96
Humedad	6.30

Fuente: Lazo (2006)

Finalmente, el valor promedio de la capacidad de rehidratación de la harina de papa precocida fue de 3,25, medido a un pH de 6,83 (Lazo, 2006). Al respecto, se puede decir que este valor fue menor al del marinebeef (3,5 - 5) reportado por Suzuki (1987) y al de la harina de falso volador (3,7) reportado por Roldán (2002). Esto nos indicaría que este producto tiene buena afinidad por el agua, lo cual haría que la misma pueda ser utilizada como ingrediente en la elaboración de alimentos enriquecidos sin perjudicar la textura final del producto.

2.2. Generalidades sobre los bocaditos o “snacks”

Los bocaditos o “snacks” constituyen uno de los productos de más rápido desarrollo entre los alimentos procesados. Hollingsworth (1995) reporta que en 1994 se consumieron alrededor de 2 millones 700 mil toneladas de “snacks” en los Estados Unidos. Este tipo de alimento se distribuye y vende en todo el mercado y se consume en todas las comidas, desde el desayuno hasta bocaditos de medianoche.

En el Perú, este alimento abarca una parte importante en el mercado de alimentos procesados. Existen empresas operando por más de 30 años. Sin embargo, en los últimos años, debido a las mejoras tecnológicas en la extrusión, se observa un aumento en las empresas que incluyen a los “snacks” entre su oferta de productos.

Los bocaditos o “snacks” son productos alimenticios, salados o dulces, fritos o extruidos; que no han sido sometidos a la acción de leudantes químicos o biológicos, que tienen diversas formas de presentación y generalmente son envasados (ITINTEC, 1984).

Los bocaditos extruidos son aquellos que se obtienen de una mezcla de materias primas previamente tratadas que son sometidos a un proceso de extrusión, se clasifican en bocaditos fritos, bocaditos extruidos y bocaditos horneados.

Los “snacks” son productos expandidos o inflados que se obtienen como resultado de la gelatinización del almidón de harinas de cereales o raíces utilizando como tecnologías de procesamiento la cocción en aceite y la extrusión. Los bocaditos expandidos pueden prepararse comercialmente por dos métodos (Matz, 1976).

- a) Expansión por fritura (“snacks” fritos).
- b) Expansión por extrusión (“snacks” extruidos).

2.3. Extrusión

Podemos definir la extrusión como el moldeado o conformación de una sustancia blanda o plástica mediante tratamiento por calor y fuerzas de corte y fricción mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio con forma especial para conseguir una estructura y características del producto terminado. Es un proceso que combina diferentes operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeo. La cocción-extrusión agroalimentarios es un caso de transferencia de tecnología. Su empleo más extendido es en el tratamiento de materias primas agrícolas, cereales principalmente, o sus transformados: harinas, sémolas y salvados, mezclados o no con otros ingredientes de origen diverso, que dan lugar a productos semielaborados o terminados para alimentación humana y animal (Callejo, 2002).

Una característica que distingue la cocción por extrusión de otros procesos alimentarios es la utilización de temperaturas muy altas, usualmente en el intervalo 100 a 180 °C. La utilización de temperaturas altas reduce el tiempo de procesado y permite una completa transformación del material crudo a su forma funcional en periodos tan bajos como 30 a 120 segundos. Por esta razón, el proceso de cocción por extrusión se puede denominar un proceso de alta temperatura y tiempo corto (HTST – “High temperatura short time”) (Guy, 2002).

Esta aplicación de calor puede darse por inyección directa de vapor o indirecta a través de chaquetas y/o por disipación de energía viscosa. En este proceso un material almidonoso y/o

proteico previamente humectado es convertido en una masa pseudoplástica y cocinado dando como resultado la gelatinización de sus almidones, la desnaturalización de su proteína, la inactivación de enzimas, la destrucción de sustancias tóxicas nativas en el alimento y la reducción del recuento de microorganismos en el producto final (Miller, 1990).

Entre las ventajas de esta tecnología, Hodson (1996) menciona las siguientes:

- Calidad Microbiológica: Los productos cocidos por extrusión tienen excelentes características bacteriológicas, están libres de larvas y patógenos, con lo cual su vida en anaquel es superior a otros.
- Alta productividad: Se pueden procesar grandes cantidades de alimentos de manera continua debido a que el tiempo de procesamiento es muy corto.
- Ausencia de residuos: No hay efluentes ni residuos del proceso, excepto los producidos por la limpieza del equipo.
- Versatilidad: Puede utilizarse una amplia gama de materias primas para una igualmente amplia variedad de alimentos.

Con relación a los fenómenos que el proceso de cocción de extrusión produce, tenemos los siguientes (Harper, 1981)

- Modificación de las características físicas, químicas y fisicoquímicas de las macromoléculas; ocurren fenómenos como la gelatinización y dextrinación del almidón, y la desnaturalización de las proteínas y vitaminas presentes.
- Fusión y plastificación del material alimenticio, aquí las partículas del alimento cambian de granular a amorfo y finalmente llegan a un estado de masa plástica viscosa y uniforme.
- Expansión del material alimenticio al presentarse una evaporación instantánea de la humedad, que ocurre cuando la presión interna del sistema es suficientemente alta y cambia bruscamente hasta alcanzar la presión atmosférica al salir del molde o dado de extrusión.

Según Cisneros (2000), las características físicas de los productos extruidos son:

- Productos de baja densidad (estructura molecular)

- Textura crocante (estructura celular y vítrea)
- Textura fibrosa (Carne)
- Variedad de tamaño y forma

La técnica de cocción extrusión es una de las muchas utilizadas para producir cereales listos para comer y snacks, pero se ha convertido en la preferida debido a que es capaz de cocinar y dar forma en una sola etapa, porque se puede procesar todo tipo de material almidonoso, crea productos altamente expandidos, produce una amplia variedad de formas y texturas y trabaja a humedades relativamente bajas (Mercier *et al.*, 1998).

2.4. Vida en anaquel de los alimentos en productos extruidos tipo snack

El IFT (1974), define la vida en anaquel de un producto como el periodo entre manufactura y venta al por menor de un producto alimenticio durante el cual el producto es de calidad satisfactoria.

IFST (1993), provee una definición más factible de vida en anaquel, como el tiempo durante el cual el producto alimenticio permanecerá seguro; será seguro para retener las características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas deseadas; cumplirá con alguna etiqueta que declare los datos nutricionales.

La vida útil puede ser descrita como el tiempo para alcanzar un nivel umbral de alguna propiedad. La determinación experimental de velocidad de deterioración puede usarse para la estimación de la vida útil, o puede usarse como alternativa de medición (Reid, *et al.*, 2003)

La calidad de productos secos está estrictamente relacionada a su contenido de agua. Usualmente, cuando estos productos son empacados, la actividad de agua dentro del empaque es generalmente muy baja. Después, durante la distribución y almacenamiento del producto, debido a la diferencia entre la actividad de agua dentro y el exterior del empaque, moléculas de agua permeadas guiados a través del empaque incrementan la actividad de agua interna.

Esto causa un aumento del contenido de agua del producto empacado y consecuentemente un desmedro de la calidad (Del Nobile *et al.*, 2003).

Felber (1981) menciona que la adsorción de vapor de agua a partir de la atmosfera por productos alimenticios crujientes tales galletas saladas, galletas y bocaditos, como un problema serio. Adsorción de humedad significa la perdida de textura crujiente y reducción de la calidad del producto. Consecuentemente estos productos deberían tener un empacado adecuado, en un material que inhiba la ganancia de humedad excesiva hasta que la vida en anaquel de los productos se haya cumplido.

Brody (2003) reporta que el periodo durante el cual el producto retiene sus propiedades deseadas se le designa usualmente como vida útil. La vida en anaquel depende de una multiplicidad de variables y sus cambios incluyen el producto, las condiciones ambientales, y el empacado. Dependiendo del producto su aplicación intencional, la vida en anaquel puede estar dictaminada por efectos microbiológicos, enzimológicos, bioquímicos, y/o físicos y depende de cuatro factores: formulación, procesamiento, empacado y condiciones de almacenamiento.

Por lo general, se considera que un alimento es perecible (almacenado apropiadamente), si tiene una vida en anaquel por debajo de los 14 días, limitada en la mayoría de los casos por deterioro bioquímico o microbiológico. Un alimento semiperecible tiene una vida en anaquel hasta de 6 meses, mientras que los alimentos más estables (no perecibles) en anaquel como la mayoría de alimentos enlatados alcanzan los 6 meses hasta los 3 años (o más) bajo condiciones apropiadas de almacenamiento (Labuza,2000).

2.4.1. Factores que afectan la vida en anaquel de los snacks

Los “snacks” están hechos de una variedad de ingredientes. Man y Jones (1997), nos dice que un insumo común es la grasa, en consecuencia, la presencia de esta es uno de los factores limitantes con mayor influencia sobre la vida en anaquel de los “snacks” debido a que están sujetas a deterioro por rancidez oxidativa o hidrolítica, que conducen a la formación de olores y sabores no deseables en los alimentos.

Los “Snacks” saborizados como todos los productos extruidos pertenecen a un sector muy competitivo del mercado de alimentos. Lo cual se debe en gran parte a que los consumidores consideran a estos alimentos listos para ser consumidos como “productos estables” (de 6 a 12 semanas), disponibles prácticamente en cualquier establecimiento que expende alimentos.

En general, los factores que tienen influencia sobre la vida en anaquel de estos grupos de alimentos son:

- Factores de carácter intrínsecos: Materia prima, formulación y composición del producto, proceso de manufactura, actividad de agua, humedad relativa, acidez y valor pH, disponibilidad de oxígeno y potencial redox.
- Factores de carácter extrínseco: Procesamiento, Higiene, Materiales y sistema de empaque, distribución, almacenamiento y presentación en el punto de venta.

Todos estos factores pueden operar en una forma interactiva y a menudo impredecible, y debe investigarse la posibilidad de interacciones. Un tipo particularmente útil de interacción ocurre cuando los factores tales como reducción de la temperatura, tratamiento con calor moderado, acción de antioxidantes y empaque con atmósfera controlada operan conjuntamente para restringir el crecimiento microbiano, este es el llamado “efecto de barrera”. Esta forma de combinación de factores los cuales, individualmente, son incapaces de prevenir el crecimiento microbiano, pero, en combinación, proveen una serie de barreras las cuales, permiten a los fabricantes usar técnicas de procesamiento más suaves, que permiten conservar más las propiedades sensoriales y nutricionales del producto.

La interacción de los factores intrínsecos y extrínsecos puede tanto inhibir o estimular un número de procesos que limitan la vida en anaquel. Estos procesos pueden estar convenientemente clasificados como:

- Microbiológicos
- Químicos
- Físicos
- Relacionados a la temperatura

Según Dethmers (1979), el control de estos factores retarda o previene los siguientes efectos:

- La acción bacteriana o enzimática, que produce sustancias indeseables en el producto que no son inhibidas por tratamientos térmicos, baja actividad de agua o métodos químicos.
- Pérdida de calidad estética como color, sabor, aroma, textura y apariencia general.
- Penetración de insectos o ataques de los productos empacados.
- Cambios físicos que se refieren a la evaporación de la humedad, que conduce a la formación de costra o superficie deshidratada.
- Reacciones químicas como son oxidación, hidrólisis, reversión de grasas, oxidación de pigmentos, desnaturalización de proteínas que conduce a cambios de texturas, pérdida de agua incorporada y cambios en las propiedades funcionales, ranciamiento y pardeamiento no enzimático.
- Contaminación ambiental debido polvos y a agentes volátiles.
- Pérdida del valor nutritivo, como pérdidas de vitaminas y desnaturalización proteica.
- Interacción entre el producto y el empaque.

2.4.1.1. Deterioro microbiológico

Los cambios microbianos son en general los de mayor gravedad ya que no solo estropean las características organolépticas del alimento, sino que pueden volverlo tóxico o infeccioso y, además, en general, progresan a una velocidad exponencial, al menos durante las fases iniciales de la infestación. Aunque la degradación microbiana en la mayoría de los casos se hace evidente al consumidor, en algunos casos permanece indetectable organolépticamente incluso en fases muy avanzadas, dando lugar a infecciones y toxiinfecciones alimentarias (salmonelosis, botulismo) (Man *et al.*, 2000).

Los principales tipos de microorganismos que participan en el deterioro de los alimentos son bacterias, mohos y levaduras, que pueden atacar prácticamente todos los componentes de los alimentos, y cuando estos se contaminan bajo condiciones naturales, es probable que actúen a la vez varios tipos de microorganismos y contribuyan a una serie de cambios simultáneos.

Los mohos se encuentran en los frutos secos, confituras, bebidas, en las oleaginosas, carnes y productos cárnicos, productos lácteos, en los cereales y sus derivados. Las modificaciones químicas producidas en los alimentos por los mohos se traducen en alteraciones del valor nutritivo o de sus características organolépticas, en dificultades de conservación y a veces en

intoxicaciones (micotoxinas, algunos *Aspergillus*; entre ellos *Aspergillus flavus*, que se desarrollan en los granos y brotes de oleaginosas, capaces de sintetizar toxinas altamente cancerígenas: las aflatoxinas) (Carrillo, 2003).

La mayoría de los mohos se desarrollan entre 15 °C y 30 °C con un óptimo de crecimiento alrededor de 20-25 °C, algunos resisten temperaturas muy bajas, sus esporas sobreviven y permanecen aptas para germinar cuando se recuperan las condiciones normales (Man, 2004).

La humedad tiene una gran influencia sobre el desarrollo de los mohos, pero más que la humedad del sustrato es la disponibilidad del agua (a_w) el parámetro más importante. A 25 °C algunas especies pueden crecer a una a_w menor a 0.65, que evidentemente encontrarán sobre frutas secas, confituras, leche en polvo, granos y derivados cereales. Sin embargo, la mayoría de los mohos prefieren una a_w más elevada de 0.80 a 0.95 (Calderon *et al.*, 2005).

Las levaduras que deterioran los alimentos, con frecuencia son especies bien conocidas que provocan cambios indeseables en ellos. Estos cambios pueden manifestarse de dos formas, una puramente estética, debido a la presencia física de levaduras (turbidez o formación de una película en la superficie de los líquidos) y otra, más profunda, resultado del metabolismo de las levaduras que puede provocar aumento del pH, aromas particulares, etc. (Carillo, 2003).

Las levaduras para su crecimiento necesitan oxígeno, fuentes de carbono orgánicas y nitrógeno mineral u orgánico, diversos minerales y una temperatura y pH adecuados. Algunas además necesitan de una o varias vitaminas y otros factores de crecimiento. Utilizan numerosos sustratos carbonados, bien por la vía oxidativa únicamente o, como pasa en la mayoría de los casos, por vía fermentativa, después de una fase inicial de crecimiento aeróbico. La temperatura de crecimiento está comprendida entre 5 a 37 °C, el valor óptimo se sitúa hacia los 25 °C. El contenido de agua en el medio es también un factor importante para el crecimiento, algunas son osmotolerantes y soportan actividades de agua del orden de 0.62, valores al que ningún otro organismo puede desarrollarse (Man, 2004). En el cuadro 3 se pueden observar más ejemplos de actividad microbiana según su a_w en los alimentos.

Cuadro 3: Actividad microbiana según su actividad de agua para diferentes tipos de alimentos

Actividad de agua (a_w)	Tipo de alimento	Géneros de microorganismo que crecen (muy lentamente a la mínima a_w) con esta a_w
0.95 – 1.00	Alimentos frescos como carnes, panes, casi 40% de sucrosa, 8% de NaCl	<i>Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Bacillus, Clostridium, Shiguella, Klebsiella</i>
0.91 – 0.95	Quesos, carnes crudas (jamón), concentrado de jugo de fruta vendida al menudeo, 55% de sucrosa, 7% de NaCl	<i>Salmonella, Vibrio, Serratia, Lactobacillus, Rhodotorula</i>
0.87 – 0.91	Embutido duro fermentado, queso seco, margarina, 65% de sucrosa, 15% NaCl	Muchas levaduras – <i>Candida, Torulopsis, Hansenula, Micrococcus</i>
0.80 – 0.87	Concentrado comercial del jugo de fruta y arce, harina, torta de fruta, dulce de caramelo, torta con alta proporción de dulce	<i>Saccharomyces, Mycotoxigenicpenicilia, Staphylococcus aureus</i>
0.75 – 0.80	Conservantes de frutas y hortalizas, mermelada, malvavisco, charqui de carne	Bacterias halófilas, <i>mycotoxigenic, Aspergillus sp.</i>
0.65 – 0.75	Avenas enrolladas, dulce de turrón, pasas, conservantes de frutas, melazas, nueces, ciruela de pasas blandas	Mohos xerofilicos (<i>Aspergillus candidus, A. chevalieri</i>)
0.60 – 0.65	Frutas deshidratadas (<20% de agua), confites, caramelos, miel	Levaduras osmofilicas, mohos <i>Aspergillus echinulatus, Monascusbiporus</i>
0.50 – 0.60	Pasta (12% de agua), especias	No hay crecimiento microbiano
0.40 – 0.50	Polvo de huevo entero (5% de agua)	No hay crecimiento microbiano
0.30 – 0.40	Galletas dulces, galletas saladas, costras de pan (5% de agua)	No hay crecimiento microbiano
0.20 – 0.30	Leche entera en polvo, hortaliza deshidratada, cereales precocinados, galletas dulces duras	No hay crecimiento microbiano

Fuente: Calderón et al. (2005)

2.4.1.2. Deterioro químico

Los alimentos están compuestos por productos químicos y la mayoría de las materias primas utilizadas en la elaboración de productos alimenticios son de origen biológico. Por ello, es inevitable que ocurran ciertos cambios químicos o bioquímicos. Con la excepción de algunos pocos cambios, como el curado de quesos y la maduración de la fruta después de su recolección, la mayoría de los cambios químicos y bioquímicos que ocurren en los alimentos son indeseables y por lo tanto afectan a la caducidad. Los cambios químicos y bioquímicos más importantes son la oxidación, hidrólisis, pardeamiento no enzimático y las interacciones entre el alimento y su envase (Man, 2004).

a) Oxidación de lípidos

El deterioro de los lípidos en los alimentos se ha dividido en dos grupos de reacciones: la rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa. El primero se debe a la acción de las lipasas que liberan ácidos grasos de los triacilgliceridos, mientras que el segundo se refiere a la acción del oxígeno y de las lipoxigenasas sobre las insaturaciones de los ácidos grasos (Badui, 2006).

Durante la oxidación de los lípidos, los productos intermedios llamados hidroperóxidos se descomponen en aldehídos, cetonas, alcoholes, alcanos e hidroxiácidos; produciendo frecuentemente olores y sabores desagradables. Estos productos pueden reaccionar y blanquear ciertos pigmentos, destruir vitaminas, causar degradación de proteínas, oscurecimiento de la grasa y producir sustancias tóxicas, como la acrilamida. Esta última sustancia se forma durante el tratamiento térmico, cuando los aminoácidos reaccionan con los azúcares reductores (glucosa y fructuosa) del alimento (Zainol *et al.*, 2003).

Los alimentos deshidratados, dependiendo de su actividad de agua, pueden ser atacados por la oxidación de los lípidos debido a que la a_w desempeña un papel importante y complejo en la velocidad de oxidación de los ácidos grasos. La oxidación se produce a bajas actividades de agua por la acción de los radicales libres. Sin embargo, en los alimentos con a_w altos se presenta un efecto acelerador del agua sobre la oxidación, ya que en este caso, el agua actúa como solvente de los reactantes; por lo tanto la estabilidad máxima se encuentra a niveles de a_w intermedios (Steele, 2004).

2.4.1.3. Deterioro físico

La pérdida de humedad es la mayor causa de deterioro físico en los alimentos. Esta pérdida se puede dar tanto en productos húmedos (donde se pierde humedad), como en productos secos o deshidratados (en los cuales se gana humedad). Otro fenómeno de migración, especialmente en alimentos complejos, es el de la grasa de un componente a otro. Los cambios físicos de los materiales de empaque, pueden también limitar el tiempo de la vida útil (Kilcast y Subramaniam, 2000).

Para los productos deshidratados los factores más críticos de conservación son el contenido de humedad y la a_w . La calidad de estos alimentos puede cambiar bajo las condiciones de almacenamiento, ya que ocurren reacciones enzimáticas, reacciones de oscurecimiento no enzimático, oxidación lipídica y reacciones entre lípidos y proteínas: siendo la actividad de agua (a_w) muy importante en la mayoría de estos procesos (Steele, 2004).

a) Contenido de humedad

En muchos alimentos, el agua es uno de sus componentes más importantes. El agua no solo es un medio de reacciones químicas y bioquímicas, sino que también participa en algunas de ellas. Desde el punto de vista microbiológico, el agua es uno de los factores más críticos. De igual importancia el hecho de que el agua afecta a las propiedades sensoriales de los alimentos. Por ello, muchos alimentos tienen la capacidad de aumentar o disminuir su contenido de humedad (o vapor de agua), dependiendo del sentido en el que se realice la transferencia del vapor de agua (Man, 2004).

El porcentaje de humedad de un alimento se refiere al contenido global de agua. Los cambios en la humedad del producto impactan directamente la vida útil y la calidad del mismo y pueden darse pérdida de textura, como la dureza del producto o pérdida de la crujencia (Belitz *et al.*, 1997).

b) Humedad relativa (HR) del ambiente

El término humedad relativa es aplicado a los reportes climáticos de ambientes agradables o desagradables. Por definición $HR = a_w \times 100$ (Reid, 2007).

La humedad relativa del ambiente intermedio afecta directamente el contenido de humedad y actividad de agua del alimento. Cuando es igual la presión de vapor de agua del alimento con

el aire circundante, la presión está en equilibrio. El sistema no es estático, sino que ésta en un sistema dinámico donde las moléculas de agua perdidas del producto son iguales a las moléculas ganadas del agua desde el ambiente por el producto. Cuando el producto está expuesto a un ambiente por encima o debajo de este punto de equilibrio, el envase protector y su nivel de barrera determinaran cuanto impactaran en el alimento. Los productos en climas más secos pueden perder la humedad y ganar en las áreas más húmedas.

Tanto en el hogar como en almacenamiento y distribución comercial, los productos están sometidos a cambios de temperatura. El aire en un envase puede mantenerse considerablemente más húmedo a temperaturas elevadas (46 gg/m³ a 100 °F/37.8 °C) que a las temperaturas refrigeradas (6.5 g/m³ a 40 °F/ 4.4 °C). Así, a una mayor temperatura, disminuye significativamente el porcentaje de humedad relativa del aire, mientras que a menores temperaturas aumenta el % de humedad relativa del aire. Cuando aumente la temperatura, los contenidos del paquete dejaran escapar la humedad, intentando restaurar el equilibrio de la a_w entre el aire y contenidos de envase. Inversamente, el enfriarse, el aire intentara retomar algo de la humedad hacia el producto, pero muy probablemente formara algún condensado. El producto probablemente establece un gradiente de la a_w desde un valor muy alto en la superficie hasta la a_w original del producto, porque en muchos casos, el proceso de difusión es comparativamente bajo en un alimento con humedad intermedia (Steele, 2004).

Badui (2006), menciona que al ser un potencial químico, la diferencia de a_w que existe entre el exterior y el alimento, o incluso entre sus propios ingredientes, causa la migración del agua. El material del envase es fundamental, ya que si este es permeable y el alimento se almacena en una atmosfera de humedad relativa mayor que la de equilibrio, habrá una migración hacia el interior (higroscopicidad) y la a_w se incrementara; por el contrario si la humedad externa es inferior, se deshidratara. Aun cuando el material de empaque sea totalmente impermeable, la actividad puede incrementar con la temperatura.

c) Actividad de agua (a_w)

La actividad del agua (a_w) es la relación de la presión de equilibrio parcial de vapor de agua de un producto o solución (P_w) a la presión de vapor de equilibrio parcial P_w^0 de agua líquida pura a la misma temperatura, que se expresa como:

$$a_w = \left(\frac{P_w}{P_w^0} \right)_{T^\circ}$$

La actividad de agua a_w expresa la “disponibilidad” del agua en una solución. Cuando esta solución y la atmosfera con la que está en contacto están en equilibrio, la humedad relativa de esta atmosfera se denomina humedad relativa equilibrada (ERH).

Los valores de actividad de agua se han usado tradicionalmente como indicador de estabilidad de los alimentos con respecto a su potencial para el crecimiento bacteriano, como cambios químicos y bioquímicos y transferencias físicas como migraciones del contenido de humedad (Man, 2004).

El control de la a_w es la base para la conservación de los alimentos húmedos secos e intermedios. Además de los límites críticos específicos de la a_w , la actividad del agua tiene un efecto pronunciado sobre las reacciones químicas en estos alimentos. Generalmente, aumenta la capacidad del agua de actuar como solvente, medio de reacción y los mismos reactivos al aumentar la a_w hasta un punto donde otros factores pueden disminuir las velocidades de reacción. Como resultado, aumenta exponencialmente la velocidad de muchas reacciones de deterioro al aumentar la a_w por encima de los correspondientes valores en la humedad de la monocapa cuyo valor en muchas reacciones tiene un velocidad mínima (Reid, 2007).

En caso de que el producto tenga un a_w menor a 0.7, se inhibe la mayoría del crecimiento bacteriano y de hongos. Con valores menores a 0.6 la actividad enzimática cesa, como se muestra en la figura 1; sin embargo, pueden aun provocarse reacciones de pardeamiento enzimático, de auto oxidación y de oscurecimiento, debido a que el oxígeno puede interactuar más fácilmente con los sustratos y enzimas, acelerando reacciones enzimáticas (Calderón *et al.*, 2005).

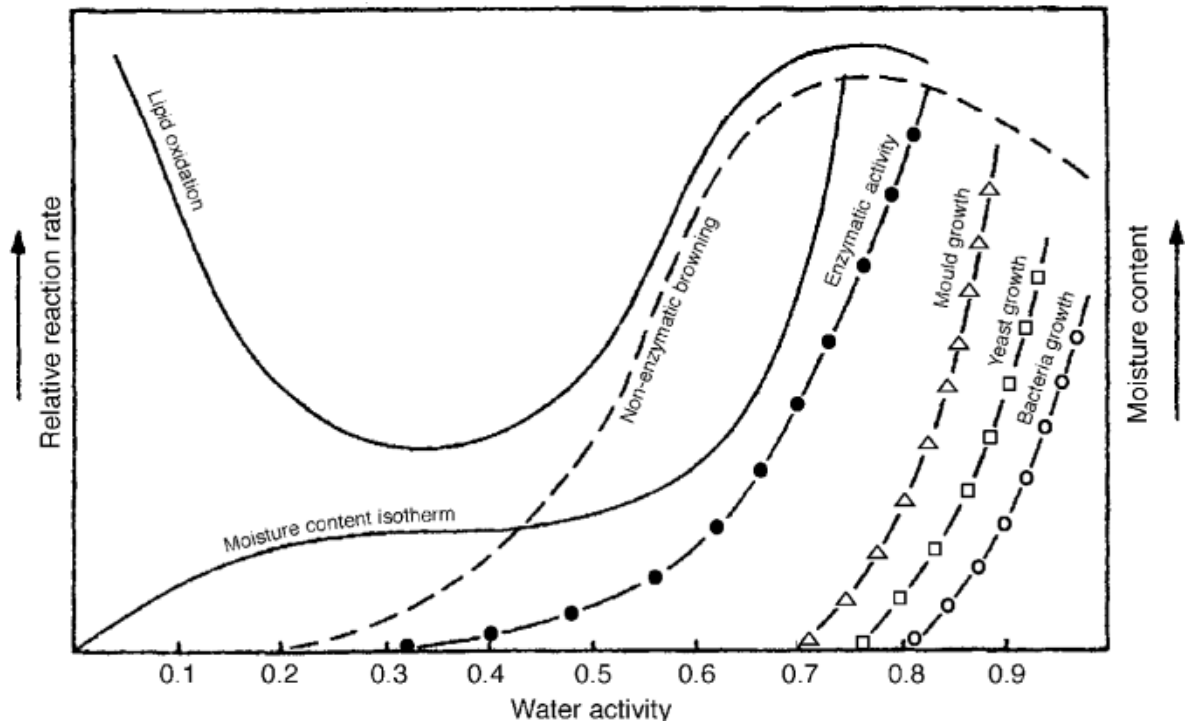


Figura 1: Mapa de estabilidad alimentaria en función de la actividad del agua
Fuente: Labuza *et al.* (1972)

El valor crítico de a_w para alimentos snack crocantes basados en mezclas de almidón/proteínas es $a_w = 0.35 - 0.50$ (Taoukis *et al.*, 1998).

d) Isotermas de sorción de humedad de equilibrio

Las isotermas de sorción de humedad son representaciones que relacionan, en el equilibrio y a temperatura constante, el contenido de agua de un alimento en base seca y su actividad de agua (Fennema, 2000). Están relacionadas con la cinética de ganancia o pérdida de humedad que puede experimentar un alimento a diferentes condiciones de humedad relativa (Badui, 2006).

La palabra “sorción” designa el fenómeno en general, sin precisar la dirección. Las isotermas son no lineales, generalmente son de forma sigmoidea y están clasificadas como isotermas del tipo III por Brunauer para la mayoría de los alimentos, pero frutas, confituras y extracto de café, que contienen grandes cantidades de azúcar y otras moléculas solubles pequeñas y que no son ricas en material polimérico, exhiben isoterma tipo I (Fennema, 2000).

Muchos alimentos, tales como los cereales extruidos, siguen la forma representativa de una isoterma tipo II. La curva sigmoidea resultante, es producida por la combinación de efectos coligativos, efectos capilares, e interacciones superficie – agua. Dos puntos de inflexión son evidenciados en la isoterma tipo II, el primero alrededor de 0.2 – 0.4 de a_w y el segundo a 0.65 – 0.75 a_w , como resultado de los cambios físico – químicos (Bell *et al.*, 2000)

A baja a_w y bajo contenido de humedad, las moléculas de agua se encuentran por fuera de la monocapa que los químicos llaman monocapa de BET. El agua en este estado, está fuertemente ligada por los componentes alimenticios y no es fácil de remover por el secado. Estas moléculas de agua tienen baja presión de vapor, no forman hielo a temperatura de congelación y no la encontramos como disolvente de componentes que deberían ser disueltos por el agua (Valentas *et al.*, 1997).

La sorción del agua ocurre primero por la formación de una monocapa sobre la superficie del producto y es seguida por una adsorción en multicapas. Consiste en agua que se ubica en los poros y espacios capilares, disuelve solutos y finalmente es atrapada. Esta fase depende de la composición y estructura de los alimentos (Barbosa *et al.*, 2000).

e) Modelos isotérmicos de adsorción

Van Den Berg y Bruin (1981); citados por (Barbosa y Vega, 2000), mencionan que para materiales biológicos se han propuesto más de 200 ecuaciones de isotermas. Las ecuaciones varían de los modelos empíricos con dos o tres parámetros de ajuste, a la de los modelos termodinámicos rigurosos, y a la de las ecuaciones derivadas del modelo BET. Las isotermas se utilizan en la predicción de la vida media de los productos alimentarios.

El modelo Guggenheim-Anderson-De Boer (GAB) se ajusta con precisión a varios cientos de isotermas de alimentos, en el rango de a_w entre 0 – 0.9 (Barbosa y Vega, 2000). Ha sido demostrado también que esta ecuación se ajusta en dicho rango tan bien o mejor que otras que involucraban cuatro o más términos. Mediante la afirmación que los estados de las moléculas de agua en un sólido a partir de la segunda capa son los mismos, pero diferentes con relación al estado que presentan en un líquido, el modelo GAB introdujo una segunda etapa de sorción, bien definida, para las moléculas de agua. Al compararlo con la clásica isoterma de BET (en la que el estado de las moléculas de agua a partir de la segunda capa es el mismo que presentan

en un líquido puro), la isoterma de GAB presenta una tercera constante k , que mide las diferencias entre los potenciales químicos estándares de las moléculas en la segunda etapa de sorción y el líquido puro. El modelo GAB se expresa como:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C K a_w}{[(1 - (K a_w)) [1 + (C - 1)(K a_w)]]}$$

Donde:

a_w = Actividad de agua

X = Contenido de humedad (g agua/100g de masa seca)

X_m = Contenido de humedad correspondiente a la saturación de todos los sitios de adsorción primarios por una molécula de agua (monocapa de BET)

C = Constante de Guggenheim

K = Factor de corrección de las propiedades de las moléculas de la multicapa con respecto al líquido global

Al ser un modelo de amplia utilización, permite comparar los valores de sus constantes con los obtenidos en otros productos por otros investigadores. Una de las constantes que se obtiene con este modelo nos permite predecir el valor del contenido de humedad de la monocapa (X_m) relacionado a la máxima estabilidad química del producto. Además, las isotermas de sorción se utilizan para determinar el punto final de secado y para el modelado y la simulación de estas operaciones (Myhara *et al.*, 1998; Palout *et al.*, 1997 citados por Garcia *et al.*, 2007).

2.4.2. Empaques en la industria de los snacks

Una de las funciones más importantes del empaque en los alimentos es la protección del producto frente a los efectos de los factores ambientales, tales como la luz, vapor de agua, gases y olores durante su vida en anaquel. La magnitud exacta de la protección requerida, sin embargo, depende de la naturaleza del producto. En el caso de la vida en anaquel de los “snacks”, las siguientes son las principales propiedades que deben cumplir los empaques flexibles, las cuales pueden afectar la calidad de almacenamiento del producto: (Man y Jones, 1997)

- Tasa de transmisión de vapor de agua. Para un material dado; mientras más bajo sea este valor, más alta será la barrera contra la humedad. En algunos casos se requiere de un recubrimiento especial para mejorar este valor (laminación y metalización).
- Tasa de transmisión de oxígeno, la cual se reduce al aumentar el espesor del material.
- Densidad óptica, que es la medida de la cantidad de luz que atraviesa el material de empaque incidiendo sobre el alimento.
- Propiedad de barrera ante sabores y olores, tanto para retener los sabores y olores propios de los alimentos como para impedir el ingreso de fuentes extrañas.

Los snacks o bocaditos normalmente tienen un cierto contenido de grasa que genera un sabor rancio si el oxígeno ha penetrado en el empaque. Estos productos son de consumo rápido, de modo que se requieren de empaques de estructuras bilaminadas con barrera a la humedad, al oxígeno y la luz solar. Se utilizan laminaciones de polipropileno biorientado (BOPP)/polipropileno biorientado (BOPP) o polipropileno (BOPP)/polipropileno biorientado metalizado (BOPPmet) que da una protección mayor (Illanes, 2004).

a) Polipropileno – polipropileno biorientado

El polipropileno se produce a partir de petróleo o gas natural por un proceso de polimerización, donde cadenas cortas de productos químicos (llamadas monómeras) se unen en presencia de un catalizador que posibilita la formación de cadenas largas llamadas polímeros. Estos polímeros son termoplásticos sólidos que pueden ser procesados de dos maneras principales: por extrusión y por moldeo o inyección.

El polipropileno posee excelentes propiedades ópticas, gran brillo y mínima opacidad, normalmente es utilizado como sobre envoltura para diversos productos como cartones de huevo, alimentos en caja, cosméticos, dulces, galletas, productos grasos, juguetes, libros; no produce gases nocivos al sellado, sello más limpio a menor temperatura, alta resistencia a aceites y grasas, neutral a sabores y olores, Cumple con las normas FDA (Food and Drug Administration) para poder estar en contacto directo con los alimentos.

b) Polipropileno biorientado metalizado

Un film metalizado es una película, normalmente plástica o celulósica sobre la cual se ha aplicado un delgado recubrimiento metálico. El termino metalización es genérico, puesto que

es posible realizar aplicaciones de diversos metales, sin embargo, cuando se trata de empaques flexibles, al decir metalización se refiere a la aplicación de un recubrimiento de aluminio (Robertson, 1993).

Hoy en día, las películas metalizadas de poliéster y polipropileno se usan como empaque en una gran variedad de alimentos como galletas, snacks, dulces, frutas secas, mayonesas, etc. Una película de una milésima de espesor obtiene una reducción de la permeabilidad al vapor de agua desde 7.9 a 0.04 – 1.1 g.mil/m².dia.atm (Mount III, 2003).

c) Coextruido polietileno-poliamida

Una coextrusión es un proceso en el cual varias capas de resinas plásticas son extruidas simultáneamente formando una sola lámina. Generalmente es utilizada para la fabricación de films multicapa, con propiedades de barrera. Este proceso es realizado en una coextrusora, este equipo consta de varios módulos de extrusión, en las cuales distintos materiales (Polietileno, Poliamida, Polipropileno, etc.), (Illanes, 2004).

2.4.2.1 Permeabilidad

La permeabilidad es un fenómeno de transferencia de un gas a través de una película. El concepto permeabilidad está normalmente asociado con la evaluación cuantitativa de las propiedades de barrera de un material. Un buen material de barrera presenta bajos valores de permeabilidad. El fenómeno de permeabilidad tiene lugar cuando la pared del polímero separa dos fases, las cuales contienen especies de bajo peso molecular que tienen diferentes valores de actividad en cada una de las fases (Kennet *et al.*, 1997).

2.4.3. Determinación de vida en anaquel de “snacks” alimento

Según Kilcast y Subramaniam (2000); la determinación de la vida en anaquel se puede realizar mediante:

A. Pruebas sensoriales

La medición de los cambios en la calidad sensorial de un alimento requiere del uso de técnicas sensoriales. Estas son usualmente mediciones cualitativas y cuantitativas de un panel entrenado, aunque también pueden provenir de consumidores finales. Existen dificultades para asegurar una buena calidad de datos en periodos de pruebas largos, por ello las mediciones físicas constituyen un buen respaldo para los métodos sensoriales. El uso de las pruebas

sensoriales de un conjunto apropiado de procesamientos diseñados para proteger la salud de los panelistas es particularmente importante llevar a cabo las pruebas de vida en anaquel, teniendo especial cuidado en tomar las medidas necesarias para asegurar que los riesgos microbiológicos sean minimizados. Las pruebas de alimentos que son llevados a cabo mediante Pruebas Aceleradas a temperaturas elevadas, requieren de precauciones específicas. Para ello es necesario que paralelamente al análisis sensorial se lleve a cabo un análisis microbiológico (Man y Jones, 1997).

La evaluación sensorial comprende una serie de pruebas, clasificadas o agrupadas en función a distintos criterios, siendo uno de los más empleados el tipo de información que proporcionan (Costell *et al.*, 1981 b). Así, las pruebas sensoriales se pueden clasificar en: pruebas de preferencia o aceptación (afectivas); pruebas discriminativas y pruebas descriptivas.

Las pruebas descriptivas son orientadas a identificar los atributos de un alimento o producto y a cuantificarlos utilizando sujetos humanos que han sido específicamente entrenados para este propósito. Estos métodos pueden incluir todos los parámetros de un producto o pueden limitarse a ciertos aspectos tales como aroma, sabor, textura y sabor residual (Hootman, 1992).

En muchos casos estas pruebas descriptivas, proveen información que no puede ser obtenida por otros métodos analíticos. Por ejemplo, el análisis del contenido de sal o pH no indica qué tan salado o ácido es el sabor de un producto. De la misma manera no es usualmente posible monitorear sutiles cambios en la vida en anaquel o estabilidad del empaque de un producto utilizando instrumentos analíticos. La única manera efectiva de monitorear cambios complejos en oxidación, rancidez o intensidad de sabor, junto con la introducción de nuevos atributos como consecuencia del almacenamiento, es mediante el uso de métodos descriptivos (Hootman 1992).

Asimismo, las pruebas sensoriales se basan en el almacenamiento de una determinada cantidad de muestras tanto en condiciones reales como aceleradas de almacenamiento en anaquel. Estas muestras son sometidas al examen de un panel sensorial, a intervalos regulares que se pueden extender entre 8 y 12 semanas. Típicamente, en este intervalo, el producto deja de ser aceptable para los panelistas, en grupo de 8 a 10 jueces (Man y Jones, 1997).

B. Pruebas instrumentales

Se han diseñado muchas pruebas que permiten el uso de técnicas instrumentales para la medición de calidad sensoriales, pero estas solo serán válidas si pueden correlacionarse con las mediciones sensoriales respectivas. Entre ellos se tiene:

- Narices electrónicas
- Analizadores de textura
- Colorímetros
- Instrumentos reológicos

Uno de los ejemplos de la medición instrumental ampliamente usado para el control en la vida en anaquel, es la medida de la actividad de agua, cuya medición se puede hacer mediante conductímetros de humedad o higrómetros.

C. Pruebas físicas

La medición física más común es la del cambio de textura de un producto. Esos cambios pueden ser el resultado de reacciones químicas que ocurren dentro del producto, como aquellos causados por la interacción entre los ingredientes o por la influencia ambiental, como la migración de la humedad a través del empaque. El contenido de humedad en un alimento es, frecuentemente un índice de estabilidad del producto, puesto que existe una relación, aunque imperfecta, entre el contenido de agua en los alimentos y su capacidad de deterioro. De los diferentes métodos de determinación de humedad, el más barato, rápido y ampliamente utilizado es el método indirecto por volatilización, el cual se basa en la separación del agua del alimento por secado en estufa a temperaturas superiores a 100 °C. La masa o volumen de muestra necesarios para realizar la determinación, así como la temperatura empleada en el proceso de secado, dependen de las características del producto analizado.

D. Pruebas químicas

Los análisis químicos juegan un rol vital en la determinación de la vida en anaquel, dado que pueden ser usados para medir las reacciones químicas que ocurren en un alimento durante su almacenamiento, o para confirmar los resultados obtenidos por un panel sensorial. Las pruebas químicas generalmente se basan en la extracción de las grasas contenidas en el alimento y en

su posterior análisis para determinar la concentración de peróxidos y ácidos grasos como indicador del nivel de rancidez de los productos.

▪ **Índice de Peróxido**

Se expresa como los miliequivalentes de peróxidos presentes en un kilogramo de aceite o grasa, y brinda información sobre el grado de oxidación de un aceite. La causa de la alteración de los aceites y las grasas puede ser el resultado de una reacción tanto química como bioquímica, pero la oxidación de las grasas es más frecuente por efecto de reacciones químicas. El principio de la oxidación de las grasas es posible que, en su mayoría, el producto de la reacción no sea más que hidroperóxido. Al aumentar la cantidad de peróxidos y aparecer el olor y el sabor característico de la rancidez, se demuestra la presencia de otros productos resultantes de la descomposición de los hidroperóxidos. La correlación entre el olor y el sabor de grasas rancias y la cantidad de peróxidos, expresada como índice de peróxido, depende de muchos factores, como de su grado de instauración y de la longitud de la cadena del ácido, entre otros (Zumbado, 2002).

Los productos extruidos son generalmente susceptibles a la oxidación de los lípidos debido a su bajo contenido de humedad, al aumento de área superficial resultante de la expansión y presencia de hierro, un catalizador para la oxidación del desgaste de tornillos (Barden, 2014; Camire, 2001; Ekwenye, 2006). Se recomienda un valor máximo de peróxido de cinco miliequivalentes / kilogramo para snacks extruidos de maíz listos para comer (Bechtel, 2002).

E. Pruebas microbiológicas

La actividad de agua, temperatura de almacenamiento, tiempo de pH pueden ser usados para predecir los microorganismos que podrían tener probabilidades de crecimiento en el producto. El “Periodo de patogenicidad” puede ser determinado almacenando el producto a una temperatura apropiada y midiendo el desarrollo microbiano a diferentes intervalos. El punto para llegar a un nivel predeterminado de recuento microbiano puede ser considerado como el punto final. Dado que es recomendable dejar un margen de seguridad en la fijación de la vida en anaquel, generalmente se toma el 70% de dicho tiempo como la vida de almacenamiento en producto.

2.5. Vida útil en alimentos empacados

Sharma *et al.* (2003) sostienen que a la vida de útil de los alimentos empacados las regulan las propiedades de los alimentos como 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. La pérdida o la ganancia de humedad es uno de los factores más importantes que controlan la vida en anaquel de los alimentos. El microclima dentro del envase es regulado por la presión de vapor de la humedad del alimento a la temperatura de almacenamiento. Los cambios en el contenido de humedad dependen de la velocidad de transmisión de vapor de agua del envase. Para controlar el contenido de humedad del alimento dentro de un envase, deben seleccionarse la permeabilidad al vapor de agua del material de empaque, así como el área superficial y el espesor de este, tomando en cuenta el almacenamiento que se requieren o la duración de la vida de anaquel. Algunos alimentos son susceptibles a la oxidación y, por lo tanto, deben almacenarse en un envase con baja permeabilidad al oxígeno. La mayoría de los alimentos se deterioran más rápidamente a temperaturas altas, por lo que deben controlarse las condiciones de almacenamiento con el objeto de reducir al mínimo las fluctuaciones de temperatura

2.5.1. Predicción del tiempo de vida útil en alimentos empacados sensibles a la humedad

Labuza (1982) y Risbo (2003a) presentan un modelo basado en la ley de Fick y Henry para estudiar la cinética de cambio de humedad de alimentos empacados, a temperatura constante:

$$\frac{d_w}{d_t} = \frac{K_w}{x} A (P_{ext} - P_{int})$$

Dónde: d_w/d_t es la velocidad de transferencia de agua en gramos de agua ganado o perdido por día, K_w/x es la permeabilidad del empaque al vapor de agua (g de agua/día. m². mm Hg), A es el área de exposición del empaque (m²), P_{ext} es la presión de vapor de agua del medio ambiente (mm Hg), y P_{int} es la presión de vapor de agua del alimento (mm Hg).

Por sustitución de la ecuación de la A_w en el modelo planteado por Labuza (1982) y Risbo (2003a) resulta la ecuación de estimación de la vida útil de alimentos empacados sensibles a la humedad:

$$t = \frac{\text{Ln}\left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right)}{\left(\frac{P A p_{sat}}{E b W_s}\right)}$$

Dónde: t es el tiempo de vida útil (días), m_e es la humedad en equilibrio (base seca), m_i es la humedad inicial (base seca), m_c es la humedad crítica (base seca), P es la permeabilidad del empaque ($\text{g}\cdot\mu\text{m}/\text{día}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mmHg}$), A es el área del empaque (m^2), p_{sat} es la presión de vapor saturado (mmHg), E es el espesor del empaque (μm), b es la pendiente de la isoterma de adsorción y W_s peso seco (g materia seca).

2.6. Pruebas aceleradas

La industria alimentaria tiene la gran necesidad de obtener, en un tiempo relativamente corto, la información necesaria que permita determinar la vida en anaquel de sus productos. Esto causa un impacto muy importante en el manejo de los productos en el almacenamiento, su distribución y el fechado de su vida en anaquel. Más aun, esto provee de una herramienta esencial para probar las posibilidades de extender la vida útil a través de una apropiada formulación del producto y técnicas de procesamiento. Por razones prácticas, especialmente cuando el tiempo real de almacenamiento es prolongado, la industria recurre a pruebas aceleradas que acortan considerablemente el proceso de obtención de los datos experimentales necesarios. Estos procedimientos solo pueden ser usados si hay una relación conocida y valida entre las características de almacenamiento bajo cierta condición del ambiente de almacenamiento y las características de almacenamiento bajo condiciones aceleradas (Labuza, 1982).

La premisa básica de una prueba acelerada es que, cambiando la condición de almacenamiento, se aceleran los procesos químicos o físicos que conducen al deterioro, y que puede definir una relación predictiva de vida en anaquel relacionada a las condiciones ambientales.

El método de pruebas aceleradas para el almacenaje de productos sensibles a la humedad, deshidratados y empacados en empaques permeables al vapor de agua, fue mejorado y

extendido para incluir el almacenaje a diferentes temperaturas. El método extendido puede ser aplicado a los productos deshidratados cuando el contenido de humedad cambia durante el almacenamiento y cuando el porcentaje de deterioro solo es dependiente de la humedad y de la temperatura. Se sabe que el porcentaje de deterioro depende de la humedad no requerida, pero esto es asumido cuando este nivel de humedad depende de la ecuación de Arrhenius. El método está basado en acelerar el proceso de deterioro sometiendo al producto a elevada humedad y elevadas temperaturas (Mizrahi y Karel, 1977a).

En el estudio de vida de alimentos en anaquel se debe hallar el factor Q10 (Solo cuando el cociente de temperatura sea para una diferencia de temperatura de 10 °C); este factor se expresa como un cociente de temperatura y se define como la relación existente entre la velocidad de la reacción a una temperatura y la velocidad de la misma reacción a una temperatura especificada menor o mayor (IFT, 1974; Labuza y Riboh, 1982; Labuza y Schmidl, 1985).

Asimismo, Man y Jones (1997) reportan que es posible predecir la vida en anaquel en condiciones ambientales normales en base a pruebas aceleradas de vida en anaquel. Tal es el caso del almacenamiento a alta temperatura y alta humedad. Estas pruebas tienden a ser muy específicas para los productos a los que se aplican y deben ser analizadas teniendo en cuenta el comportamiento de los siguientes factores:

- Contenido de humedad y adsorción para las temperaturas involucradas.
- Propiedades del material de empaque.
- Condiciones de almacenamiento.

2.7. Reacciones cinéticas para predecir la pérdida de calidad en alimentos

2.7.1. Orden de reacción

Labuza (1999) menciona que es sumamente complejo reconocer un sistema alimentario respecto a las pérdidas de calidad, lo cual es representada por la pérdida de un factor deseable de calidad A (ejemplo, el sabor) o el aumento de un factor indeseable (ejemplo, valor

peróxido). Las velocidades de pérdida de A, r_A y de formación de B, r_B , es dado por las ecuaciones siguientes:

$$r_A = \frac{-d[A]}{dt} = k [A]^n \quad (1)$$

$$r_B = \frac{-d[B]}{dt} = K' [B]^{n'} \quad (2)$$

El factor [A] y [B] pueden medirse como un parámetro químico, físico, microbiológico o sensorial. K y K' son las constantes de velocidad de reacción de n y n' los órdenes de reacción. Las ecuaciones (1) y (2) no representan los verdaderos mecanismos de la reacción y los órdenes de reacción no son necesariamente verdaderos órdenes de reacción con respecto a las especies A y B, sino que representas órdenes aparentes. La reacción aparente y las constantes son determinadas por ajustes de los datos medibles de [A] o [B] con el tiempo para las ecuaciones (1) y (2). Las ecuaciones de velocidad que permiten resolver analíticamente la expresión de la concentración de A o B están en función del tiempo. La forma de estas funciones para diferentes órdenes de reacción se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Ecuación para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción

Orden de reacción	Ecuación para A	Ecuación para B
0	$A_0 - A = kt$	$B - B_0 = kt$
1	$Ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = kt$	$Ln\left(\frac{B}{B_0}\right) = kt$
$n \neq 1$	$\frac{1}{A^{n-1}} - \frac{1}{A_0^{n-1}} = (n-1)kt$	$\frac{1}{B_0^{n-1}} - \frac{1}{B^{n-1}} = (n-1)kt$

Fuente: Labuza (1999)

Para determinar el orden de reacción aparente se asume diferentes valores de n (0, 1 y más) y se prueba con un gráfico o un ajuste lineal a las ecuaciones correspondientes (Cuadro 3) de los datos experimentales. Si el experimento se ha llevado a cabo a por lo menos 50 % de conversión y preferentemente 75 % es normalmente fácil determinar qué orden de la reacción da mejores ajustes, o gráficamente usando la bondad estadística de criterio (R^2) de la

regresión lineal es en la mayoría de los casos un criterio suficiente. La mayoría de las reacciones de alimentos que se han estudiado se ha caracterizado como pseudo-ceros (velocidad constante de deterioro) o primer orden (velocidad exponencial de deterioro).

Una vez que el orden aparente de la reacción de deterioro de la calidad se ha decidido, más allá del análisis estadístico del parámetro k, la constante de velocidad, se requiere para conseguir una estimación del error en la determinación de k y la vida útil.

2.7.1.1. Reacción de orden cero (n=0)

La pérdida de calidad alimenticia para la mayoría de los alimentos puede ser representada por la ecuación (3) (Labuza, 2000).

$$\pm \frac{dA}{d\theta} = KA^n \quad (3)$$

Dónde:

A = Factor de calidad que será cuantificado

B = Tiempo

K = Constante que depende de la temperatura y de la actividad de agua del alimento.

n = Factor de potencia, u orden de la reacción

$\pm \frac{dA}{d\theta}$ = Velocidad de cambio de A con respecto al tiempo Θ

El signo negativo se utiliza si el deterioro es una pérdida de A y el signo positivo se emplea si es por producción de un producto final indeseable.

Basados en la ecuación (3), la mayor parte de la literatura de alimentos, asume que el valor de n=0 (sin una verdadera medición). Esta asunción, llamada esquema de reacción de orden cero, implica que la velocidad de perdida a temperatura y A_w es constante, como se muestra en la ecuación (3.1).

$$- \frac{dA}{d\theta} = K \quad (3.1)$$

La ecuación (3.1) nos indica que el porcentaje de vida en anaquel perdido por día es constante a alguna temperatura constante. Matemáticamente, si la reacción (3.1) fuera integrada como sigue:

$$-\int_{A_0}^{A_e} dA = \int_0^{\theta_s} K d\theta \quad (3.2)$$

Entonces: $A = A_0 - K\theta \quad (3.3)$

$$A_e = A_0 - k\theta_s \quad (3.4)$$

Dónde:

A_0 = Valor de la cantidad inicial

A = Cantidad remanente después de un tiempo θ

A_e = Valor de A al final de la vida en anaquel (puede ser cero o cualquier otro valor)

θ_s = Vida en anaquel en días, meses, años, etc.

En muchos casos A no es un valor muy cuantificable o susceptible de medición y está basada únicamente en la evaluación de un panel. En este caso se asumió que A_0 es el 100 % de la calidad y A_e es la calidad inaceptable. Así la velocidad de deterioro o la constante de la velocidad es:

$$K = \frac{100\%}{\theta_s} = \% \text{ constante por día} \quad (3.5)$$

Técnicamente, el mayor problema en las pruebas de vida útil en anaquel es verificar que realmente $n = 0$, de esta manera pueden ser usadas las ecuaciones (3.3), (3.4), (3.5).

Basándose en revisiones de artículos científicos (Karel y Quast, 1972) algunas de las formas de deterioro son aplicables directamente a la cinética de orden cero. Estas incluyen: (1) Degradación enzimática (frutas y verduras frescas, algunos alimentos congelados y pastas refrigeradas); (2) Pardeamiento no enzimático (por ejemplo, cereales secos, productos lácteos deshidratados, alimentos secos para mascotas, pérdida del valor nutricional proteínico); (3) Oxidación de lípidos (desarrollo parcial de rancidez, alimentos secos, alimentos para mascotas, alimentos congelados).

Cuando el orden de las reacciones es cero, la gráfica de la pérdida de calidad vs el tiempo es lineal en coordenadas cartesianas; donde el valor de K es la pendiente de la línea, como se ve en la Figura 2 que a los 40 días queda el 80% de vida en anaquel, a los 160 días queda el 20%, etc.

Debe notarse que la vida en anaquel de un alimento no es una función del tiempo; más bien es una función de las condiciones ambientales y de la cantidad de cambio en la calidad que puede permitirse. El problema, sin embargo, es que la distribución del alimento ocurre a temperaturas variables de modo que los datos deben recolectarse a diferentes temperaturas para que sean de utilidad (Labuza, 1982).

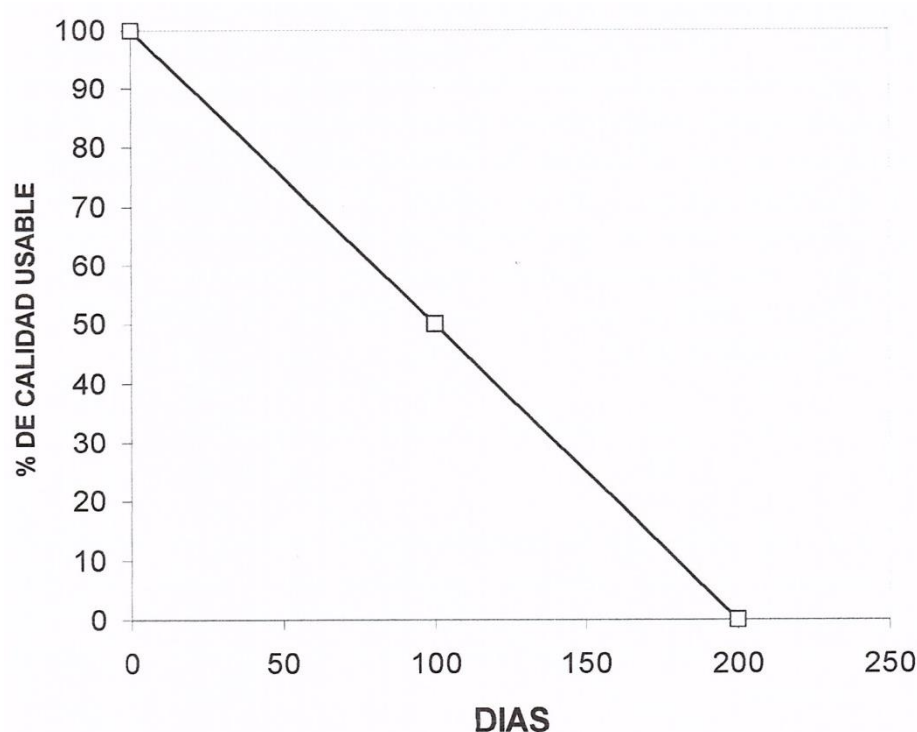


Figura 2: Pérdida constante de vida en anaquel
Fuente: Labuza (1982)

2.7.1.2. Reacción de orden uno ($n=1$)

Como se mencionó anteriormente, la vida en anaquel en muchos casos no sigue una simple velocidad constante de degradación. En efecto el valor de n puede variar en muchas reacciones desde cero hasta cualquier valor fraccional o entero hasta dos.

Muchos alimentos que no se deterioran por orden cero, siguen un modelo de primer orden, que resulta en un decrecimiento exponencial en la velocidad de pérdida como calidad decreciente. Esto significa que la vida en anaquel de los alimentos que siguen este comportamiento es más larga que aquellos con una velocidad constante.

Matemáticamente, para $n = 1$, o reacción de primero orden, la velocidad de pérdida es:

$$-\frac{dA}{d\theta} = KA^1 \quad (3.6)$$

Así, la velocidad de pérdida de calidad es dependiente directamente de la cantidad remanente que queda. En otras palabras, mientras que la cantidad (A) decrece, la velocidad de pérdida de calidad se hace más lenta. Integrando la ecuación (3.6), tenemos:

$$\int_{A_0}^A \frac{dA}{a} = - \int_0^\theta kd\theta \quad (3.7)$$

$$\text{Ln} \frac{A}{A_0} = -K\theta \quad (3.8)$$

$$\text{Ln} \frac{A_e}{A_0} = -K\theta_s \quad (3.9)$$

Dónde:

A = Cantidad remanente en el tiempo θ

A_e = Cantidad remanente al final de la vida en anaquel (θ_s es diferente de cero).

K = Constante de la velocidad, en unidades del tiempo (días^{-1})

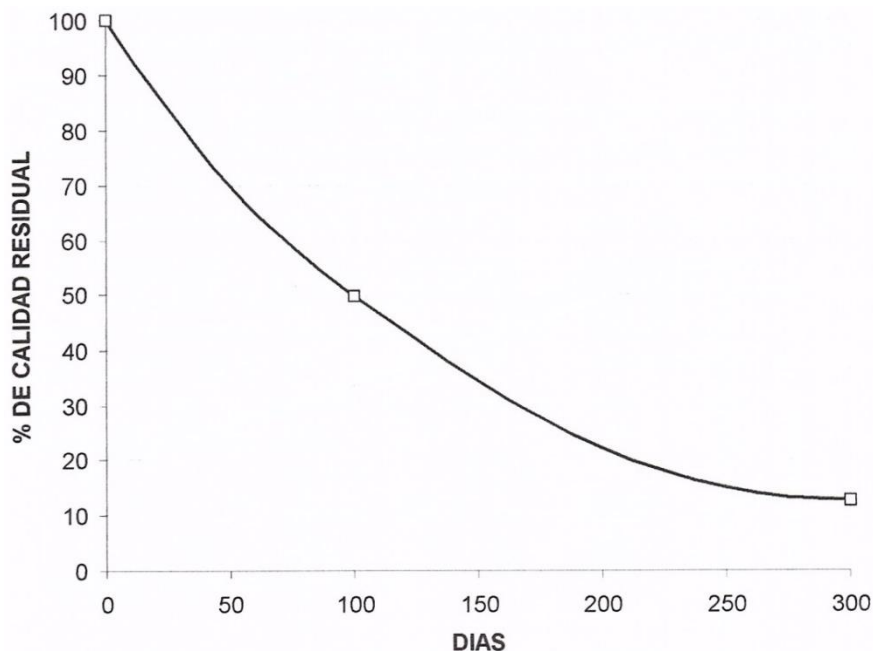


Figura 3: Degradación de primer orden
Fuente: Labuza (1982)

La Figura 3, el porcentaje de calidad residual vs tiempo, no es una línea recta, como se muestra. Si se pierde 50 % de la calidad en 100 días como en la Figura 1, entonces a los 40 días, hay 76 % de calidad remanente, mientras que para una velocidad de pérdida constante habría un 80 % remanente. A los 100 días ambos mecanismos dan el mismo porcentaje remanente, pero después de ese tiempo la pérdida de calidad se hace más lenta para el mecanismo de primer orden y teóricamente nunca se llega a alcanzar el valor cero. Estos ejemplos demuestran que es absolutamente importante conocer el orden de reacción.

Los tipos de deterioro que siguen un $n = 1$, son (Labuza, 1982):

- 1) Rancidez (como aceites de ensaladas o verduras deshidratadas).
- 2) Crecimiento (carne y pescado fresco) y mortalidad microbiana (tratamiento térmico).
- 3) Producción microbiana de sabores indeseables y limo, tal en carne, pescado y aves.
- 4) Pérdidas de vitaminas (alimentos envasados y deshidratados).
- 5) Pérdida de calidad proteica (alimentos deshidratados).

Otra manera de representar el deterioro exponencial es ploteando las pérdidas de calidad vs tiempo, sobre un papel semilogaritmico, como se muestra en la Figura 4.

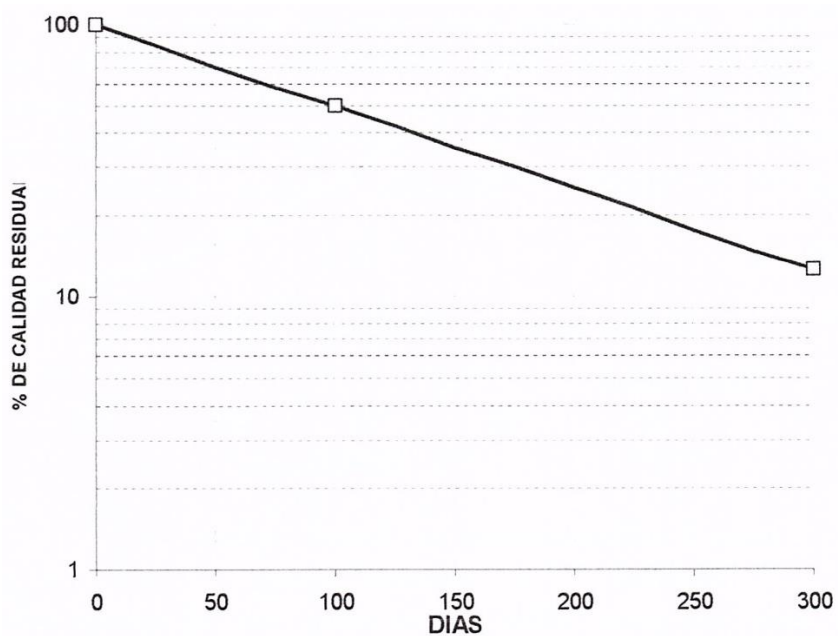


Figura 4: Ploteosemilogarítmico de primer orden
Fuente: Labuza (1982)

La pendiente de esta línea a temperatura constante es el valor de K, donde:

$$K = \frac{0.693}{\theta^{1/2}}$$

Donde $\theta^{1/2}$ es la vida media. Matemáticamente si conocemos la cantidad de degradación a un tiempo cualquiera y a una temperatura, que sigue una reacción de primer orden, la Figura 5 puede construirse fácilmente, si se define. Si se define el final de la vida en anaquel como que es menor que 50% del total del cambio posible, el menor cambio de porcentaje para el final de la vida en anaquel producirá la menor diferencia, si la reacción es calculada como de orden o primer orden. Obviamente, cuanto mejores sean los datos a una temperatura dada, mejor será la estimación del valor de n (Karel, 1974).

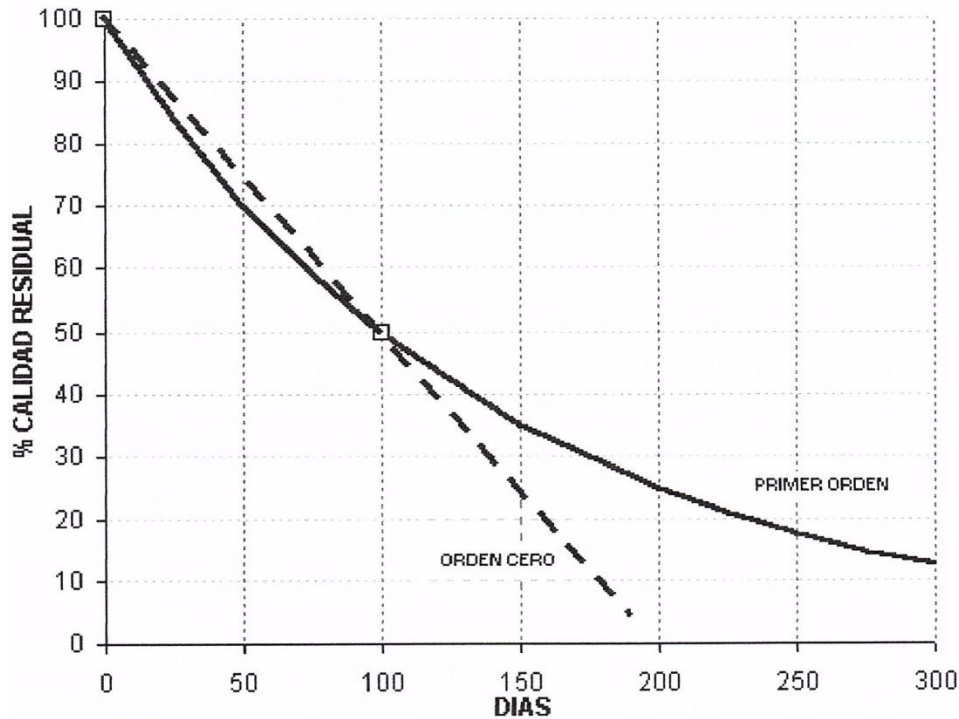


Figura 5: Pérdida de calidad de un alimento mostrando dos órdenes diferentes de reacción

Fuente: Taoukis y Labuza (1996)

En esencia, cuanto menor sea el cambio requerido para conseguir el final de la aceptabilidad comparado con el cambio total que puede ocurrir, menos importante es la necesidad de conocer exactamente cuál es el valor del orden de la reacción.

2.7.1.3. Funciones de otros órdenes

Existen muy pocos datos para describir la degradación de alimentos por otras ordenes diferentes de cero o primer orden, Lee *et al.* (1977) y Singh *et al.* (1976), describieron la degradación de la vitamina C en alimentos líquidos como jugo de tomate o formula envasado para infante por una reacción de segundo orden. En este caso, la reacción es dependiente del ascorbato y oxígeno, mientras que el oxígeno es agotado, la velocidad de pérdida del ascorbato se vuelve menor que el predicho por una reacción de primer orden ($n = 1$).

El requerimiento más importante para obtener un modelo confiable, es la definición del índice de calidad apropiado a evaluar. Las pruebas químicas, microbiológicas y físicas son ampliamente empleadas en el estudio de la calidad de alimentos (Cuadro 5).

Cuadro 5: Factores de calidad que controlan la vida útil de algunos alimentos

Alimento	Factor de calidad	Tipo
Cereales	Ganancia de humedad y oxidación de lípidos.	Cereales de desayuno, galletas, etc.
Snacks	Ganancia de humedad y oxidación de lípidos.	Productos extruidos, etc.
Café	Ganancia de humedad y pérdida de sabor	
Productos instantáneos	Ganancia de humedad y oxidación de lípidos	Sopas y salsas deshidratadas, bebidas en polvo
Leche en polvo	Ganancia de humedad y pardeamiento no enzimático	
Mezclas deshidratadas	Crecimiento de mohos y ganancia de humedad.	Todos los tipos de productos deshidratados.

Fuente: Adaptado de Pfeiffer *et al.* (1999)

2.7.2. Dependencia de la velocidad de deterioro de la temperatura

Los alimentos pueden considerarse en general como sistemas discontinuos, la velocidad de reacción, es decir, la velocidad de aparición o desaparición de algunas sustancias, necesita ser adaptada a cada sistema. Además, por tratarse de medios de densidad prácticamente constantes, puede admitirse que la velocidad de reacción representa, en estos casos, el cambio de concentración de un reactivo en función al tiempo. La velocidad de reacción proporcionaría, por tanto, una medida de la reactividad y estabilidad del sistema (Johnson *et al.*, 1995).

Según Taoukis *et al.* (2000), mediante un estudio cuidadoso de los componentes y procesos de los alimentos, puede establecerse que las reacciones analizadas tienen un impacto importante en la velocidad de deterioro. Basado en este análisis y sin subestimar la complejidad fundamental de los sistemas alimenticios, el cambio en el alimento puede representarse por la pérdida de uno o más índices de calidad (por ejemplo, un nutriente de sabor característico) o por la formación de un producto desagradable (por ejemplo, un sabor desagradable o descoloración). Comúnmente, los factores de calidad son parámetros químicos, físicos, microbiológicos o sensoriales cuantificables, seleccionados para describir representativamente el deterioro de la calidad de un sistema particular de alimentos.

En general, las velocidades de reacción aumentan con el aumento de las temperaturas. El modelo más común y ampliamente utilizado es la relación de Arrhenius, derivada de las leyes termodinámicas, así como los principios de la estadística mecánica. La relación de Arrhenius, desarrollado teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, se ha demostrado experimentalmente para sostener empíricamente varios y complejos fenómenos físicos- químicos (por ejemplo, viscosidad, difusión, sorción). Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos descritos por los modelos cinéticos antes mencionados, se ha demostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura (Labuza, 1999).

2.7.2.1. La ecuación de arrhenius

Kilcast y Subramaniam (2000) mencionan que la influencia de la temperatura en la velocidad de la reacción puede ser descrita usando la relación de Arrhenius, como sigue:

$$K = K_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (4)$$

Dónde:

K_0 = Constante pre-exponencial

E_a = Energía de activación en cal/mol

R = Constante de los gases en cal/mol.°K

T = Temperatura en °K (°C + 273)

Así, un ploteo de la velocidad constante en papel semilogaritmico como una función de la reciproca de la temperatura (absoluta $1/T$) dará una línea recta. Como un ejemplo, tres sistemas son teóricamente representados en la Figura 5. La pendiente de cada línea es igual a la energía de activación dividido por R . Una pendiente excesiva significa que la reacción es más dependiente de la temperatura, por ejemplo; mientras la temperatura se incrementa, la reacción se incrementa a una velocidad más rápida.

Así, en la Figura 6, B y C tienen la misma dependencia de temperatura, y se incrementa a velocidad más rápidamente ya que según se incrementa la temperatura $1/T$ se hace menor. Este gráfico también ilustra que, para A y B a alguna posible temperatura, las velocidades son las mismas; de cualquier modo, sobre y por debajo de este nivel sus velocidades relativas son diferentes. Así, a temperaturas por debajo de T_c (es decir, un valor grande de $1/T$ la velocidad

de pérdida de A es más veloz que B; por encima de T_c , B se pierde más rápido que A. Lo que esto podría significar es que, para un alimento con dos formas de deterioro, la forma de deterioro puede cambiar con la temperatura, lo cual crearía un problema en la predicción de la vida en anaquel (Labuza, 1982).

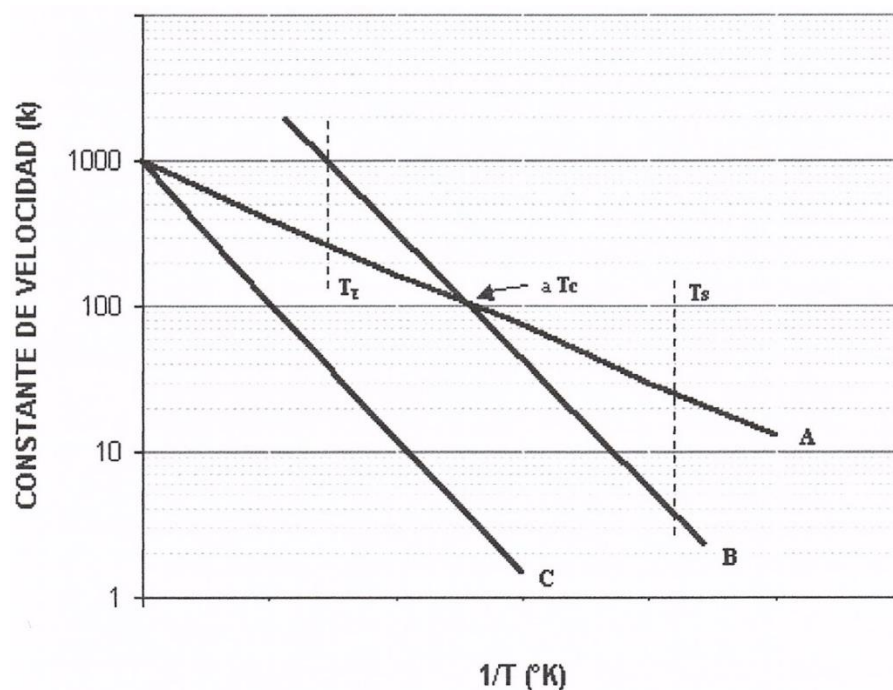


Figura 6: Ploteo de Arrhenius
Fuente: Labuza (1982)

2.7.2.2. El valor Q_{10}

La mayor parte de los datos para las formas de deterioro en la literatura no dan velocidades o constantes de velocidades, sino más bien son de la forma de toda la vida en anaquel (análisis del punto final) como una función de la temperatura. Villota *et al.* (1980) analizaron la literatura para alimentos deshidratados para tratar de determinar el orden de la reacción y la vida en anaquel. Usando los modelos matemáticos anteriores, los datos del punto final pueden ser transformados en un gráfico de vida en anaquel como el que se muestra en la Figura 7 que es usualmente una línea recta. Teóricamente, si solo un pequeño rango de temperatura es usado desde el gráfico de Arrhenius (no más de un cambio de 20 – 40 °C) entonces, los mismos datos darán una línea recta regular en el gráfico de vida en anaquel.

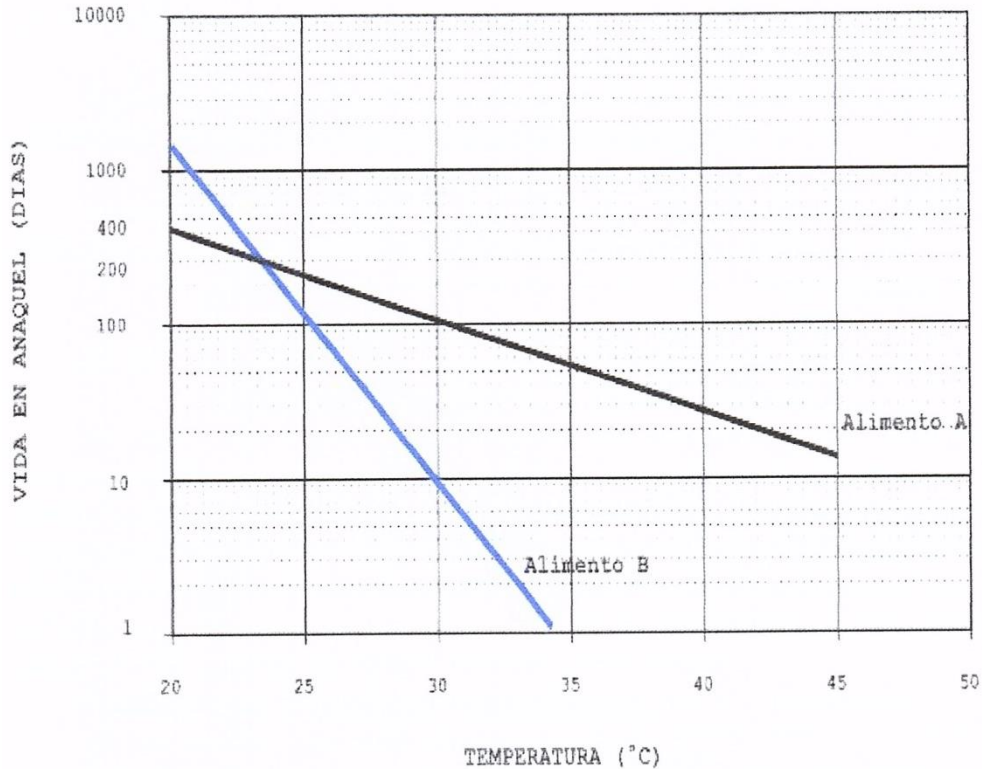


Figura 7: Ploteo de la vida en anaquel
Fuente: Labuza (1982)

Lo que es necesario para la construcción de este gráfico de la Figura 6 es:

- 1) Alguna medida de la pérdida de calidad
- 2) Algún valor del punto final para la inaceptabilidad
- 3) El orden de la reacción, así como predecir el tiempo para alcanzar el punto final; y
- 4) Experimentos para medir está perdida por lo menos a dos temperaturas y así poder construir la línea.

Según la figura, a mayor inclinación mayor pendiente, el más sensible a cambios de temperatura es el alimento (o la reacción). Una medida de esta sensibilidad es llamado el Q_{10} de la reacción, que está definido como:

$$Q_{10} = \frac{\text{Velocidad a la temperatura } (T+10 \text{ } ^\circ\text{C})}{\text{Velocidad a la temperatura } T \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (5.1)$$

El Q_{10} puede también ser calculado desde el gráfico de vida en anaquel como:

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida en anaquel a } T^{\circ}\text{C}}{\text{Vida en anaquel a } (T+10^{\circ}\text{C})} = \frac{\theta_{sT}}{\theta_{sT+10}} \quad (5.2)$$

Los cuales asumen que la velocidad es inversamente proporcional a la vida en anaquel. Para una reacción de orden cero esto es exactamente verdadero desde que:

$$\text{Velocidad} = K = \frac{\text{Cantidad de pérdida en el punto final}}{\theta_s}$$

Si la cantidad perdida a θ_s está definida, entonces el Q_{10} puede ser calculado como en la ecuación (5.2). Una relación similar puede ser derivada para reacciones de primer orden, para así mismo demostrar que el Q_{10} puede ser calculado por la ecuación (5.2).

Teóricamente, el Q_{10} y la energía de activación puede relacionarse por la ecuación (5.3)

$$\text{Log}_{10}Q_{10} = \frac{2.19 E_a}{(T)(T + 10)}$$

La Figura 7 ilustra la utilidad de un gráfico de vida en anaquel cuando se aplica para estudiar la pérdida de la calidad, desde que se demostró que, manteniendo un alimento a una temperatura más alta, esto ocasionara una degradación más rápida. De este modo, si se realizan estudios a dos temperaturas deferentes, la vida en anaquel a alguna temperatura más baja puede predecirse si la línea asumida fuera recta.

No se puede, sin embargo, estudiar el deterioro a una sola temperatura porque no es posible predecir de antemano la inclinación de la línea o el Q_{10} exactamente (Labuza, 1982). El cuadro 6 nos muestra el tiempo de vida en anaquel, modo de deterioro y factores ambientales críticos de algunos productos alimenticios.

Cuadro 6: Tiempo de vida en anaquel, modo de deterioro y factores ambientales críticos de algunos productos alimenticios

Producto Alimenticio	Modo de deterioro	Factores Ambientales Críticos	Vida en Anaquel (Promedio)	Fecha de Vencimiento más adecuada	Información adicional al consumidor
PERECIBLES					
Leche fluida y productos lácteos	Crecimiento microbiano, oxidación del sabor, rancidez hidrolítica	O_2 , T°	7-30 días a 32 a 45 °F	Venta por o usar dentro de X días	Tiempo de almacenamiento del producto en el hogar
Productos panaderos frescos	Endurecimiento, crecimiento microbiano, pérdida de humedad, rancidez oxidativa	O_2 , T° , humedad	2 días (pan) 7 días (tortas)	Venta por o usar dentro de X días	No almacenar en la refrigeradora, congeladora y mantener congelado si no se va a usar inmediatamente
Carne roja fresca	Crecimiento bacteriano, pérdida de color rojo	O_2 , T° , luz	3-4 días a 32 a 45 °F	Empacado, o venta por	Duración del tiempo que el producto puede ser almacenado en casa tanto en refrigeración como congelación
Carne de ave fresca	Crecimiento microbiano, olores extraños	O_2 , T° , luz	2-7 días a 32 a 45 °F	Venta por	Duración del tiempo que el producto puede ser almacenado en casa tanto en refrigeración como congelación
Pescado fresco	Crecimiento microbiano, olores estaños	T°	3-14 días cuando se almacena en hielo (pescado de mar)	Empacado o día de pesca	Duración del tiempo que el producto puede ser almacenado en casa tanto en refrigeración como congelación
Frutas y vegetales frescos	Respiración, cambios de composición, pérdida de nutrientes, pardeamiento, crecimiento microbiano	T° , HR%, luz, O_2 , manipulación	--- *	Fecha de empacado	Duración del tiempo que el producto puede ser almacenado en casa y a condiciones óptimas de almacenamiento
SEMIPERECIBLES					
Bocaditos (Snacks) fritos	Rancidez, pérdida de crocantes, envejecimiento	O_2 , T° , luz, HR%, manipulación	3- 12 semanas	Venta por o mejor si se usa antes de	Almacenamiento en un lugar fresco y seco

«Continuación»

Producto Alimenticio	Modo de deterioro	Factores Ambientales Críticos	Vida en Anaquel (Promedio)	Fecha de Vencimiento más adecuada	Información adicional al consumidor
Queso	Rancidez, pardea miento, cristalización de la lactosa, crecimiento indeseable de mohos	T°, HR%	Queso procesado 4 – 24 meses, queso natural 4 – 12 meses	Mejor si se usa antes de	Mantener refrigerado
Helados	Endurecimiento, causado por el hielo o la cristalización de la lactosa, textura	Fluctuación de T° (por debajo de la congelación)	1 – 4 meses	Venta por o mejor si se usa antes de	Temperatura recomendada de almacenamiento en congelación en el hogar
ESTABLES EN ANAQUEL, NO PERECIBLES					
Alimentos deshidratados	Pardeamiento, rancidez, pérdida de color, pérdida de textura, pérdida de nutrientes	HR%, T°, luz, O ₂	Vegetales deshidratados 3 – 15 meses, carne deshidratada 1 – 6 meses, frutas secas 1 – 24 meses	Venta por o mejor si se usa antes de	Estimado la vida en anaquel por encima de la fecha de venta, almacenamiento en un lugar fresco y seco lejos de la luz
Leche no grasa	Deterioro del sabor, pérdida de solubilidad, endurecimiento, pérdida de nutrientes	HR%, T°	8 -12 meses	Mejor si se usa antes de	Almacenado en un lugar fresco y seco
Cereales para desayuno	Rancidez, pérdida de crocantes, pérdida de nutrientes, envejecimiento	HR%, T°, manipulación ruda	6 – 18 meses	Venta por o mejor si se usa antes de	Almacenado en un lugar fresco y seco
Pastas	Cambios de textura, endurecimiento, pérdida de vitaminas y proteínas, envejecimiento	HR%, T°, luz, manipulación ruda, O ₂	Pasta con huevo 9 – 36 meses, macarrones y espagueti 24 – 48 meses	Mejor si se usa antes de	Almacenado en un lugar fresco y seco
Jugos concentrados congelados	Separación de fases, crecimiento microbiano, pérdida de vitaminas, color o sabor	O ₂ , T° y descongelamiento	18 – 30 meses	Venta por o mejor si se usa antes de	Meses de alta calidad luego del almacenamiento en el hogar, temperatura en el congelador

«Continuación»

Producto Alimenticio	Modo de deterioro	Factores Ambientales Críticos	Vida en Anaquel (Promedio)	Fecha de Vencimiento más adecuada	Información adicional al consumidor
Frutas y vegetales congelados	Perdida de nutrientes, pérdida de textura, sabor, olor, color y formación de una envoltura de hielo	O_2 , T° , fluctuación de T°	6 – 24 meses	Mejor si se usa antes de	Meses de alta calidad luego del almacenamiento en el hogar, temperatura en el congelador
Carne, aves y pescado congelado	Rancidez, desnaturalización de proteínas, cambio de color, desecación (quemadura por frío)	O_2 , T° , fluctuación de T°	Res, cordero y aves 6 -12 meses, ternera 4 -14 meses, cerdo 4 -12 meses, pescado 2 – 18 meses	Mejor si se usa antes de	Meses de alta calidad luego del almacenamiento en el hogar, temperatura en el congelador
Alimentos congelados preparados	Rancidez en la carne, coagulación y goteo de las salsas, pérdida de sabor, color, envoltura de hielo	O_2 , T° , fluctuación de T°	Vegetales deshidratados 3 – 15 meses, carne deshidratada 1 – 6 meses, frutas secas 1 – 24 meses	Mejor si se usa antes de	Meses de alta calidad luego del almacenamiento en el hogar, temperatura en el congelador
Frutas y vegetales enlatados	Perdida de sabor, textura, color, nutrientes	T°	8 – 12 meses	Mejor si se usa antes de	Mantener en forma fresca y seca tanto como sea posible
Café	Rancidez, pérdida de sabor y olor	O_2 , T° , luz, HR%	6 – 18 meses	Mejor si se usa antes de	Mantener cubierto y almacenado en un lugar fresco y seco
Té	Perdida de sabor, absorción de olores extraños	O_2 , T° , luz, humedad	Pasta con huevo 9 – 36 meses, macarrones y espagueti 24 – 48 meses	Mejor si se usa antes de	Mantener cubierto y almacenado en un lugar fresco y seco

Fuente: IFT (1981b); citado por Chau (2002)

III. METODOLOGÍA

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina y Corporación Montana:

- Laboratorios de Procesos e Ingeniería Pesquera, Facultad de Pesquería
- Laboratorio de Microbiología Pesquera, Facultad de Pesquería
- Laboratorio de Envases y Embalajes, Facultad de Industrias Alimentarias
- Laboratorio de Calidad Total, Corporación Montana

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Producto y envases

Producto: Se utilizó un producto elaborado por Espinoza (2018). Extruido elaborado con cereales andinos y enriquecidos con concentrado proteico de pota (Snack tipo pop)

Empaques evaluados:

- Polipropileno Biorientado Metalizado (Empaque #1)
- Polipropileno (Empaque #2)
- Coextruido Polietileno-Poliamida (Empaque #3)

3.2.2. Materiales de laboratorio

Matraces Erlenmeyer, probetas, picetas, vasos de precipitado, placas Petri, pipetas volumétricas, fioles de 100 mL, Erlenmeyer con tapa esmerilada, embudos de separación, frascos de vidrio de 250 mL con tapa, microbureta, balón de digestión Kjeldahl.

3.2.3. Reactivos y otros

Medio de cultivo Agar (Oxitetraciclina glucosa), Cloruro de Sodio, Peptona, Ácido sulfúrico 98 %, Hidróxido de sodio 40 %, Catalizador (mezcla de $K_2SO_4 + CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 9:1), Indicador Tashiro, Ácido Oxálico, Cloroformo, Ácido acético glacial, Ioduro de potasio, Tiosulfato de sodio, Almidón, Hexano.

3.2.4. Equipos

- Estufa eléctrica Memmert, modelo TV-40V.
- Balanza de humedad Cenco; capacidad 10 g.
- Balanza de precisión Sautter, tipo 414.
- Medidor de actividad de agua AquaLab Lite Version 6, DecagonDevices, Inc
- Cámara climática Climacell 222 – komfort, MMM Group
- Cámara climática Climacell 222 – Evo, MMM Group
- Equipo Soxhlet
- Equipo de destilación Kjeldahl
- Desecadores con silicagel

3.3 Métodos de análisis

El presente trabajo de investigación se realizó teniendo en cuenta el esquema experimental mostrado en la Figura 8 y Figura 9.

Condiciones de Almacenamiento	Tipos de empaque	Vida en anaquel		
		Semana cero	Semanas 1,2,3,4,5	Semana 6
35 °C, 85 % HR	Empaque #1	Análisis químicos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proteína total ▪ Grasa ▪ Humedad ▪ Valor peróxido ▪ Actividad de agua 	Análisis químicos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Humedad ▪ Valor peróxido ▪ Actividad de agua 	Análisis químicos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proteína total ▪ Grasa ▪ Humedad ▪ Valor peróxido ▪ Actividad de agua
	Empaque #2			
	Empaque #3			
45 °C, 85 % HR	Empaque #1	Análisis Microbiológico <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuento de Mohos y Levaduras ▪ <i>Salmonellasp.</i> ▪ Coliformes 	Análisis Microbiológico <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuento de Mohos y Levaduras 	Análisis Microbiológico <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuento de Mohos y Levaduras ▪ <i>Salmonellasp.</i> ▪ Coliformes
	Empaque #2			
	Empaque #3			
55 °C, 85 % HR	Empaque #1	Análisis Sensorial	Análisis Sensorial	Análisis Sensorial
	Empaque #2			
	Empaque #3			

Nota: Durante el primer mes las evaluación fueron semanales, mientras que en el segundo mes fueron quincenales

Figura 8: Esquema de experimentación para la determinación del tiempo de vida en anaquel de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota

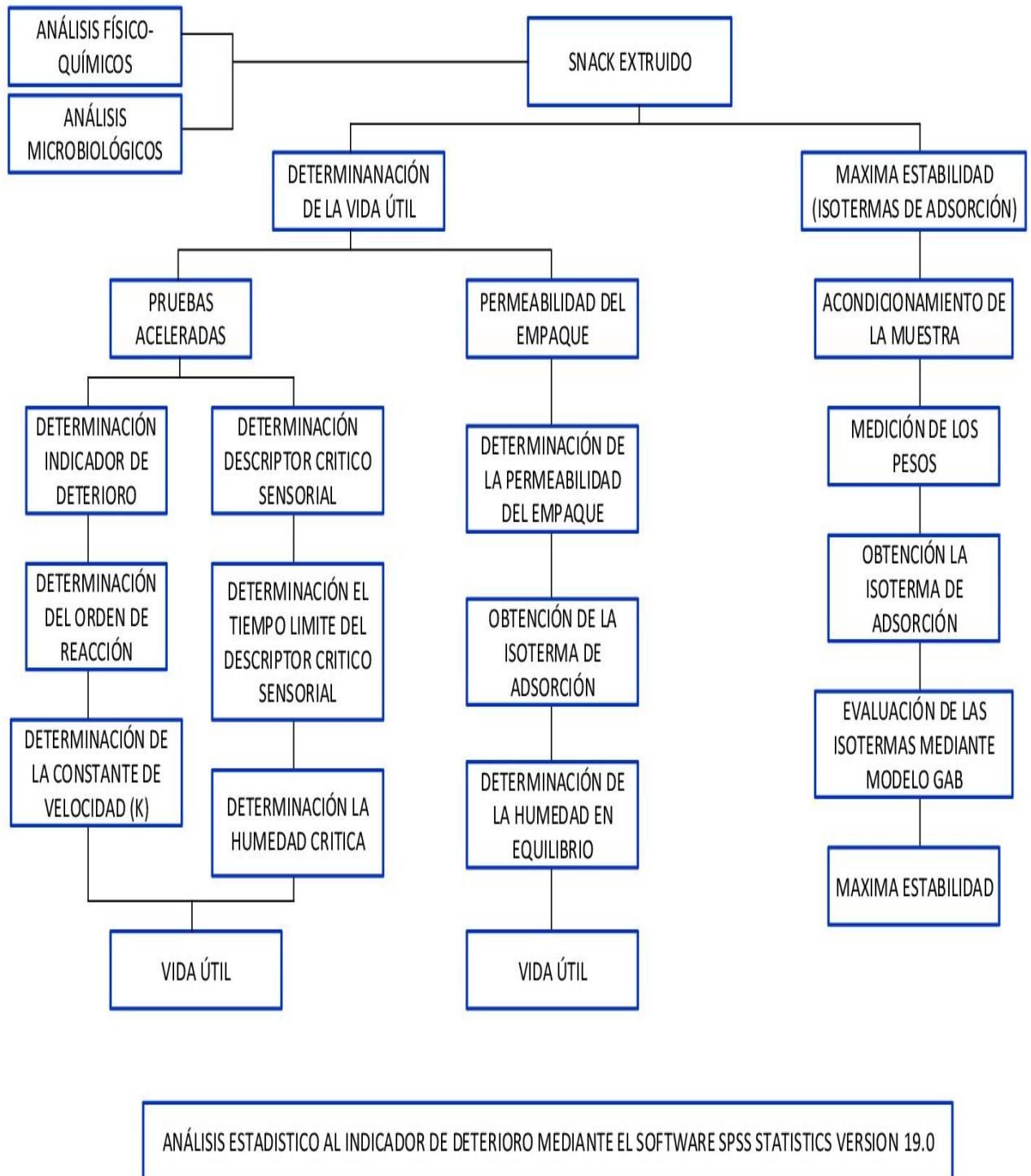


Figura 9: Diagrama de flujo para la determinación del tiempo de vida en anaquel de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota

3.3.1 Determinación de la vida útil del extruido, por pruebas aceleradas

A) Conducción de las pruebas aceleradas

Para la determinación de la estabilidad del extruido se utilizó pruebas aceleradas de vida útil (ASLT). Las muestras fueron envasadas y almacenadas en cámaras termo reguladas a diferentes temperaturas (35, 45, 55°C) y manteniendo la humedad relativa constante de 85% durante 2 meses. Se utilizaron tres empaques diferentes (empaque #1, empaque #2 y empaque #3) y la evaluación se realizó teniendo en cuenta el cronograma establecido. Durante el primer mes la evaluación fue semanal, mientras que en el segundo mes fue quincenal.

B) Selección de descriptor crítico sensorial

El análisis sensorial se realizó mediante el test de valoración de calidad de Karlsruhe (anexo 1), el cual se adaptó a las características de este nuevo producto extruido, siendo esta nueva tabla la que se empleó en las evaluaciones del producto. Se consideró que el nivel de inaceptabilidad del producto será menor a 5,5 en la escala de Karlsruhe (Wittig, 1981). Este valor límite ha sido propuesto en la escala de Karlsruhe para definir la calidad comercial.

Se utilizó un panel entrenado de ocho jueces, de preferencia que tengan noción en temas de Evaluación Sensorial de los alimentos, es decir que hayan estudiado la carrera de Ing. Pesquera o afines en la UNALM.

Se registró la evolución de los 5 atributos sensoriales en el tiempo de almacenamiento en los tres diferentes empaques. Luego, se realizó una regresión lineal entre el puntaje promedio obtenido de cada descriptor sensorial y el tiempo de almacenamiento, para los tres empaques a sus tres temperaturas de almacenamiento correspondiente; a cada tendencia le correspondió una ecuación lineal, en la que la variable dependiente es el descriptor crítico sensorial, y la variable independiente es el tiempo de almacenamiento, de acuerdo con el método (Garitta *et al.*, 2004) con una ligera modificación.

C) Determinación de orden de reacción

Se determinó el orden de reacción mediante la siguiente expresión general de la velocidad de reacción (Labuza, 1999):

$$\pm \frac{d[A]}{dt} = k [A]^n$$

Dónde:

A = Factor de calidad medido. Este parámetro puede ser físico, químico, microbiológicos o índices sensoriales.

t = Tiempo

k = Constante de velocidad de reacción.

n = Factor de potencia llamado orden de reacción que define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente de A.

$\frac{d[A]}{dt}$ = Velocidad de cambio de A respecto al tiempo. Negativo es utilizado si el deterioro es una pérdida de A y un signo positivo si es por producción de un producto final indeseable.

D) Determinación de la humedad crítica, mediante la relación del descriptor crítico sensorial y la humedad

Se determinó el índice de calidad apropiado para el snack extruido según el cuadro 5 adaptado por Pfeiffer *et al.* (1999). Dado que, de las 3 temperaturas elegidas, 35 °C es la que más se acerca a la temperatura ambiente, el cálculo de la humedad crítica se hizo a esta temperatura mediante la relación entre el descriptor crítico sensorial y el índice de calidad del producto.

E) Determinación de las constantes de velocidad de reacción el modelo de Arrhenius

Se realizó a partir de la regresión realizada para la determinación de los órdenes de reacción para cada factor de calidad.

La influencia de la temperatura con la velocidad de reacción sigue el modelo de Arrhenius (Kilcast y Subramaniam, 2000).

$$K = K_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Dónde:

K_0 = Constante pre – exponencial

E_a = Energía de activación en cal/mol

R = Constante de los gases en cal/mol.°K

T = Temperatura en °K (°C + 273)

F) Estimación de la vida útil

Se determinó el valor de la constante (K) para la temperatura de almacenamiento a condiciones ambientales (20 °C) para cada empaque, reemplazando en la ecuación de Arrhenius el valor de la temperatura de almacenamiento ambiental (Fennema, 2000).

Posteriormente el valor obtenido de K, fue reemplazado en la ecuación de pérdida de calidad ya determinada anteriormente, según el orden de reacción que más se ajustó a los valores del factor de calidad; y conocidos los valores experimentales iniciales del factor de calidad evaluado (A_0) y el límite de calidad del mismo, es decir, el Valor Límite (A), se obtuvo el tiempo en el que el producto se mantiene estable a temperatura ambiente de almacenamiento según las condiciones ambientales.

3.3.2 Predicción del tiempo de vida útil en alimentos empacados sensibles a la humedad

La vida útil de alimentos empacados sensibles a la humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\text{Ln}\left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right)}{\left(\frac{P A p_{\text{sat}}}{E b W_s}\right)}$$

Dónde: t es el tiempo de vida útil (días), m_e es la humedad en equilibrio (base seca), m_i es la humedad inicial(base seca), m_c es la humedad critica (base seca), P es la permeabilidad del empaque (g- $\mu\text{m}/\text{día}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mmHg}$), A es el área del empaque (m^2), p_{sat} es la presión de vapor saturado (mmHg), E es el espesor del empaque (μm), b es la pendiente de la isoterma de adsorción y W_s peso seco (g materia seca).

A) Permeabilidad de empaque

Se determinó la permeabilidad a 30 °C y 90% HR. Se llevó a cabo el procedimiento utilizando sílica gel, en una cápsula, la cual se recubrió con la película de polipropileno; se colocó a las respectivas temperaturas durante periodos de tiempo previamente establecidos (24 horas), después de los cuales se registraron los datos del peso de las cápsulas.

El cálculo de la velocidad de transmisión del vapor de agua de los empaques se realizó con la siguiente formula (método gravimétrico ISO, 1995):

$$WVT = \frac{m_f - m_i}{\theta A}$$

Dónde: WVT es la velocidad de transmisión del vapor de agua, m_f es la masa final, m_i es la masa inicial, θ es el tiempo y A es el área. La permeabilidad del empaque se determinó con la siguiente expresión (método gravimétrico ISO, 1995):

$$PVA = \frac{WVT \Delta x}{P_o(\%HR_1 - \%HR_2)}$$

Dónde: Δx es el espesor de la película en μm , P_o es la presión de vapor del agua pura a la temperatura del ensayo en mm Hg, HR_1 y HR_2 son las humedades relativas dentro y fuera del empaque.

Se determinó la velocidad de transmisión de vapor de agua según ISO 2528:1995 (ISO, 1995) Método gravimétrico (Anexo 3).

Se determinó el espesor según la NTP ISO 4593:1998 (INDECOPI, 1998).

3.3.3 Determinación de la máxima estabilidad mediante isotermas de adsorción (actividad de agua)

Se determinó los valores de a_w de las muestras en cada semana de evaluación y se elaboró las isotermas de adsorción utilizando el modelo de GAB (Van den Berg, 1981).

3.3.4 Análisis químicos

- Humedad, según el método oficial de la AOAC 952.08 (2000).
- Grasa, según el método oficial de la AOAC 948.25 (2000) por extracción Soxhlet.
- Proteína total, según el método oficial de la AOAC 940.25 (2000) por destilación micro Kjeldahl.
- Valor peróxido, según el método oficial de la AOAC 41.1.16 (1995).

3.3.5 Análisis microbiológico

- Recuento de Mohos y Levaduras: Según ICMSF Vol. I parte II Ed. II Pág 120 – 114 (ICMSF, 2000).

3.4 Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron de las pruebas de almacenamiento acelerado según el factor de calidad evaluado (humedad) se analizaron estadísticamente siguiendo para ello el diseño de completamente al azar (DCA), y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de determinar si existen diferencias entre los promedios de los tres empaques de trabajo correspondiente, ($p < 0.05$).

El análisis estadístico se realizó con el apoyo del software SPSS Statistics versión 19.0 (SPSS, Chicago, IL, E.E.U.U.)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización del extruido

Los resultados de los análisis realizados para la caracterización del extruido enriquecido con concentrado proteico de pota se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Resultados de los análisis realizados al extruido enriquecido con concentrado proteico de pota al inicio de la experimentación

COMPONENTE	EXTRUIDO
<u>PROXIMAL</u>	
Proteína (g/100 g de muestra original)	12.8
Grasa (g/100 g de muestra original)	0.40
Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	80.5
Ceniza (g/100 g de muestra original)	0.60
Humedad(g/100 g de muestra original)	4.90
<u>OTROS</u>	
Índice de Peróxido (Mequivalentes/ Kg de grasa extraída)	0.00

Fuente: Elaboración propia

El contenido de humedad del producto extruido es de 4.9 %, la Norma técnica peruana ITINTEC (1984) menciona que los bocaditos extruidos tienen un contenido de humedad máximo al 6%, esto permite mantener la crujidez del producto, además de mejorar el tiempo de conservación.

Respecto al contenido de cenizas (0.60%), la Norma Técnica Peruana ITINTEC (1984), menciona que los bocaditos extruidos deben de tener un contenido máximo de 4%.

El MINSA (2002) reportó que los snacks extruidos comerciales como el Tico-Tico y los Chizitos, snacks de maíz saborizados y confitados o con sal, poseen un 4.8 y 6.7 % de proteínas, siendo valores inferiores al extruido evaluado (12.8 %), el contenido de carbohidratos es de 90.9%.

4.2. Determinación de la vida útil del snack extruido tipo pop, por pruebas aceleradas

4.2.1 Indicador de deterioro

El efecto del período de almacenamiento sobre el contenido de humedad del snack extruido envasado en los tres tipos de empaques diferentes se muestra en la Figura 10. Se observó un aumento en el contenido de humedad de la muestra extruida en los tres empaques. El contenido de humedad del empaque polipropileno biorientado metalizado aumento en 3.11%, 4.83%, 6.65%, en el empaque polipropileno aumento en 5.26%, 8.69%,12%, y en el empaque coextruido polietileno-poliamida aumento en 7.09%, 9.26%, 12.65%, en las temperaturas de 35, 45 y 55 °C durante los 63 días de almacenamiento. El análisis bidireccional para la humedad (Cuadro 8, Anexo 4) reveló que el tipo de material de envasado y las condiciones de almacenamiento afectan el contenido de humedad del producto de aperitivo extruido de forma significativa ($p \leq 0,05$), de manera similar, Wani y Kumar (2015a), Wani, Solanke y Kumar (2015b) observaron los mismos resultados en productos extruidos almacenados en diferentes materiales de embalaje (especificar). Asimismo, se observa en la figura 10 que el producto envasado con el empaque polipropileno biorientado metalizado presenta menor ganancia de humedad a diferencia de los otros dos empaques (polipropileno y coextruido polietileno-poliamida) los cuales presentan similares patrones de ganancia de humedad. Estas diferentes variaciones en el aumento del contenido de humedad en las bolsas se debieron al hecho de la permeabilidad (Cuadro 22), el cual era más alto en los empaques polipropileno y coextruido polietileno-poliamida en comparación con el empaque polipropileno biorientado metalizado.

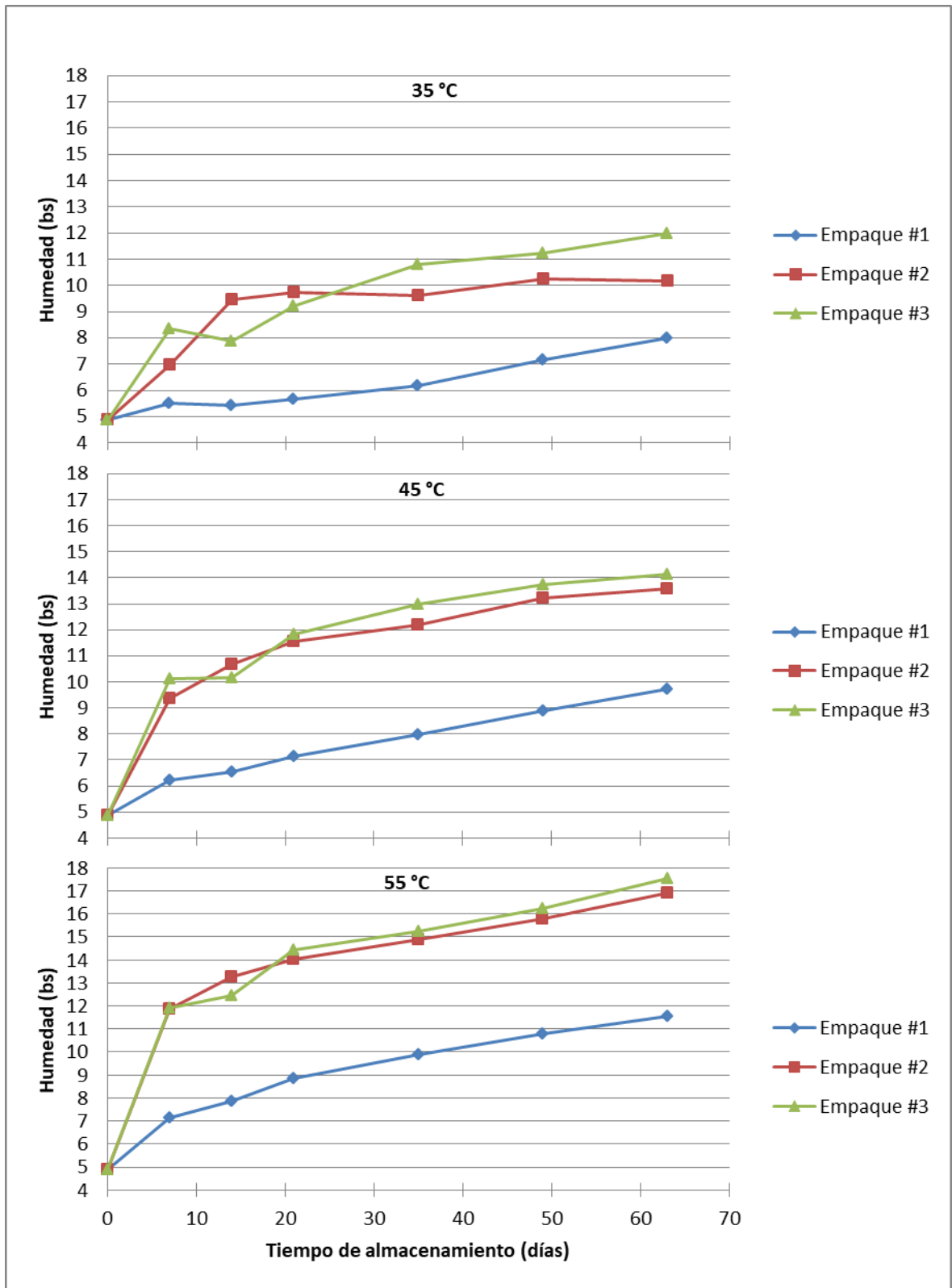


Figura 10: Desarrollo de la humedad en los tres tipos de empaques en condiciones de 35, 45, 55 °C de almacenamiento

Cuadro 8: Análisis de dos vías para los tres tipos de empaques a la temperatura 35 °C

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	93.34	8	11.67	11.46	0.0001
Almacenamiento	54.89	6	9.15	8.99	0.0007
Empaque	38.45	2	19.22	18.89	0.0002
Error	12.21	12	1.02		
Total	105.55	20			

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de humedad de un alimento se refiere al contenido global de agua. Los cambios en la humedad del producto impactan directamente la vida útil y la calidad del mismo y pueden darse pérdida de textura, como la dureza del producto o pérdida de la crujencia (Belitz *et al.*, 1997).

La temperatura de almacenamiento y el material de envasado tienen un gran impacto en las características físicas, microbiológicas y sensoriales del snack extruido. Los snacks extruidos tienen una naturaleza higroscópica. El potencial de absorción de humedad afecta al crocante del producto, dando como resultado la disminución de la aceptabilidad general del producto.

La absorción de humedad durante el período de almacenamiento tiende a conducir a una degradación de la calidad. Además, la absorción de humedad por el producto disminuye su estabilidad al almacenamiento, ya que proporciona un medio adecuado para el crecimiento bacteriano, así como rancidez hidrolítica (Tiwari *et al.*, 2009).

Por otro lado, la humedad relativa afecta directamente el contenido de humedad y la actividad de agua de un alimento, y es considerado el segundo factor más importante que controla la cinética de las reacciones de deterioro. En pruebas aceleradas de alimentos sensibles a la humedad, se ha empleado condiciones de temperatura y humedad relativa como factores de aceleración (Labuza, 1999).

4.2.2. Selección del descriptor crítico sensorial

La evolución de los 5 descriptores sensoriales, a través del tiempo a 35, 45 y 55 °C, para los tres empaques en evaluación se observan en los Cuadros 9, 10 y 11 y se ilustran en las Figuras 10, 11, 12. Los datos completos, de las evaluaciones sensoriales se observan en el Anexo 2.

Cuadro 9: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 35 °C, para los 3 tipos de empaques

Descriptor	Polipropileno Biorientado Metalizado		Polipropileno		Coextruido Polietileno-Poliamida	
	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2
Color	$y=-0.0203x + 8.6919$	0.9683	$y=-0.0632x + 8.8684$	0.8735	$y=-0.1149x + 9.1746$	0.8968
Apariencia	$y=-0.0301x + 8.6517$	0.9052	$y=-0.0947x + 9.1991$	0.9148	$y=-0.1123x + 8.7998$	0.9047
Olor	$y=-0.0230x + 8.7998$	0.7599	$y=-0.0731x + 8.9028$	0.9660	$y=-0.1041x + 8.9182$	0.8802
Sabor	$y=-0.0166x + 8.1624$	0.8835	$y=-0.0817x + 8.6165$	0.9770	$y=-0.1035x + 8.2952$	0.9276
Textura	$y=-0.0413x + 8.9901$	0.9690	$y=-0.0973x + 9.4320$	0.9620	$y=-0.1159x + 8.6465$	0.9539

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 45°C, para los 3 tipos de empaques

Descriptor	Polipropileno Biorientado Metalizado		Polipropileno		Coextruido Polietileno-Poliamida	
	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2
Color	$y=-0.0286x + 8.6817$	0.9675	$y=-0.0790x + 8.8835$	0.9506	$y=-0.1147x + 8.9171$	0.8704
Apariencia	$y=-0.0355x + 8.6008$	0.9452	$y=-0.1035x + 9.1869$	0.9508	$y=-0.1166x + 8.7192$	0.8913
Olor	$y=-0.0245x + 8.5366$	0.8035	$y=-0.0780x + 8.8202$	0.9794	$y=-0.1149x + 8.6914$	0.8915
Sabor	$y=-0.0260x + 8.1316$	0.9595	$y=-0.0987x + 8.7360$	0.9817	$y=-0.1069x + 8.2090$	0.9299
Textura	$y=-0.0422x + 8.7120$	0.9764	$y=-0.1082x + 9.4047$	0.9795	$y=-0.1176x + 8.2993$	0.9284

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Valores de regresión entre los descriptores sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 55 °C, para los 3 tipos de empaques

Descriptor	Polipropileno Biorientado Metalizado		Polipropileno		Coextruido Polietileno-Poliamida	
	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2	Ecuación Regresión	R^2
Color	$y=-0.0307x + 8.6330$	0.9708	$y=-0.0825x + 8.7806$	0.9611	$y=-0.1169x + 8.8516$	0.8708
Apariencia	$y=-0.0412x + 8.3987$	0.9615	$y=-0.1079x + 9.0727$	0.9746	$y=-0.1156x + 8.5308$	0.8843
Olor	$y=-0.0306x + 8.4334$	0.8322	$y=-0.0860x + 8.7858$	0.9831	$y=-0.1153x + 8.5234$	0.8923
Sabor	$y=-0.0308x + 8.0994$	0.9701	$y=-0.1016x + 8.6181$	0.9884	$y=-0.1077x + 7.9981$	0.9325
Textura	$y=-0.0498x + 8.6291$	0.9694	$y=-0.1122x + 9.2252$	0.9868	$y=-0.1173x + 8.1669$	0.9315

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos de los Cuadros 9, 10, 11, se puede observar que los 5 atributos sensoriales disminuyeron conforme se incrementó el tiempo de almacenamiento, reflejado en la pendiente negativa que presentan.

El atributo textura fue el que obtuvo los cambios más pronunciados durante el almacenamiento, ello se refleja en los valores de las pendientes de regresión obtenidas -0.0413, -0.0973, -0.1159 (Empaque polipropileno biorientado metalizado, empaque polipropileno, empaque coextruido polietileno poliamida respectivamente a la temperatura 35 °C), -0.0422, -0.1082, -0.1176 (Empaque polipropileno biorientado metalizado, empaque polipropileno, empaque coextruido polietileno-poliamida respectivamente a la temperatura 45 °C), -0.0498, -0.1122, -0.1173 (Empaque polipropileno biorientado metalizado, empaque polipropileno, Empaque coextruido polietileno-poliamida respectivamente a la temperatura 55 °C), superan a los valores obtenidos por los demás atributos (color, apariencia, olor, sabor), como se observa en los Cuadros 9, 10, 11.

Esto indica que el principal factor de la disminución de calidad del extruido obtenida en el análisis sensorial de los 5 atributos, es la textura. Se definió, por tanto, el atributo textura como el descriptor crítico sensorial.

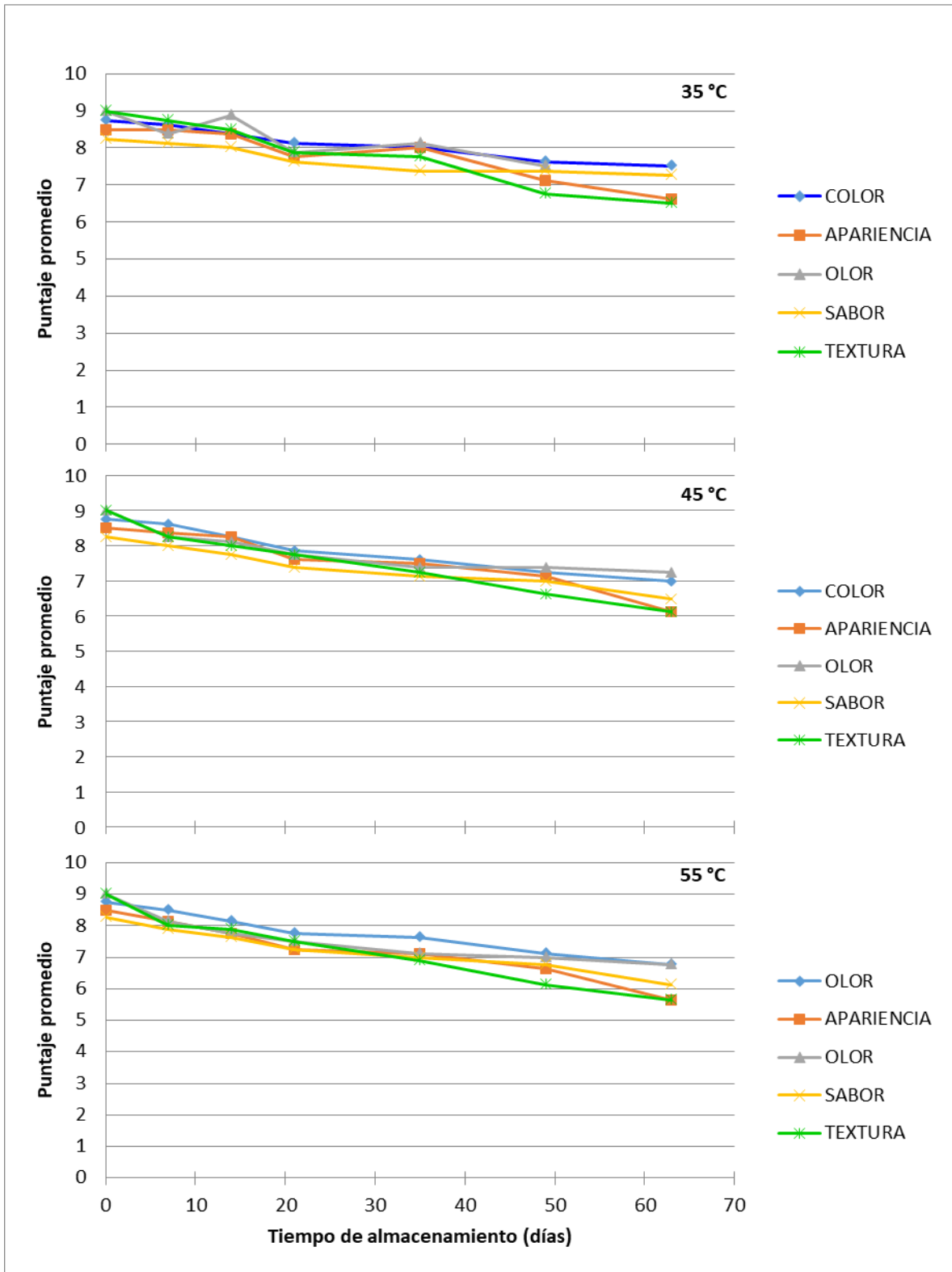


Figura 10. Evolución de los descriptores sensoriales del snack extruido, durante el almacenamiento a 35, 45, 55 °C para el empaque polipropileno biorientado metalizado

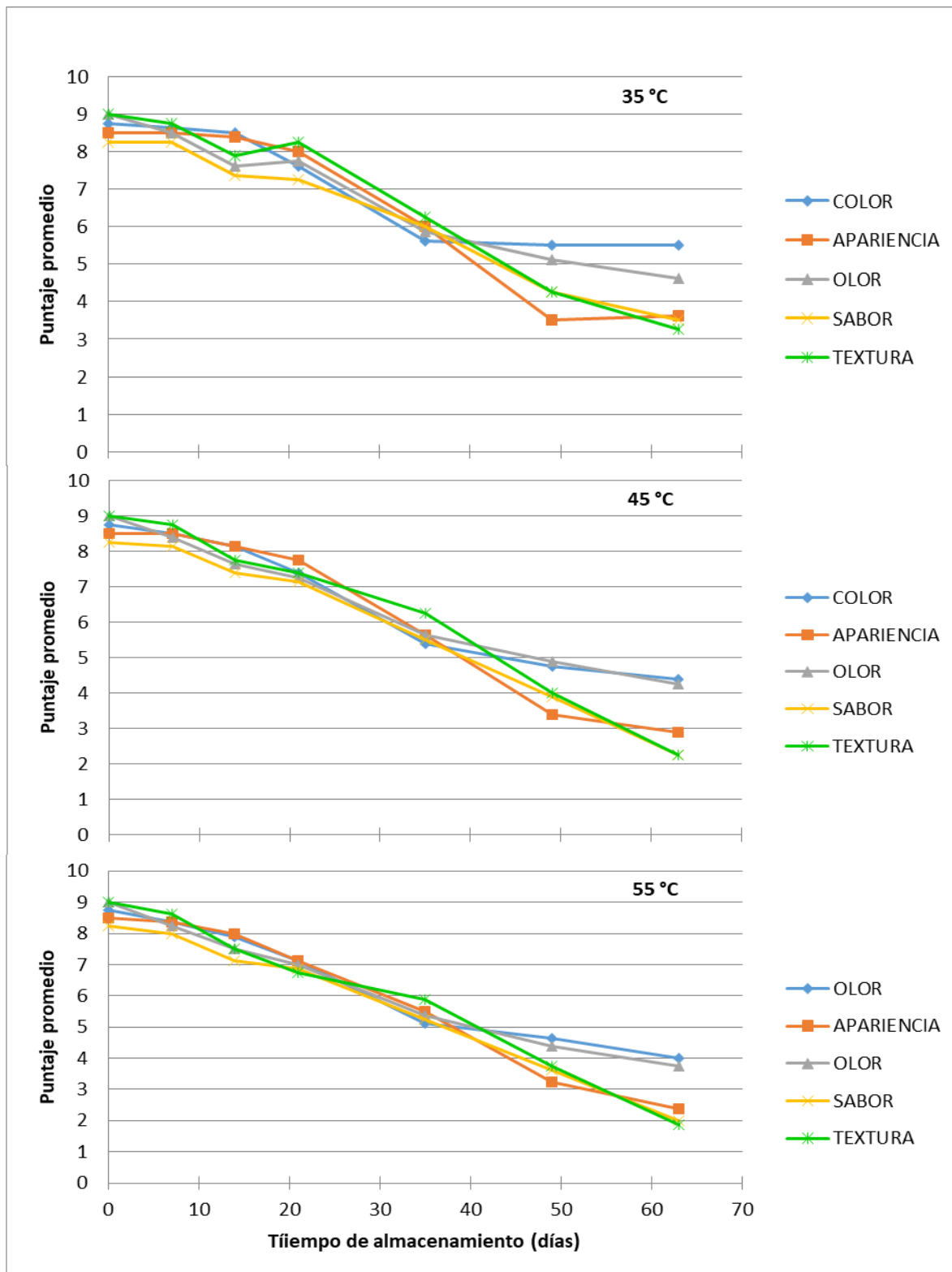


Figura 11: Evolución de los descriptores sensoriales del snack extruido, durante el almacenamiento a 35, 45, 55 °C para el empaque polipropileno

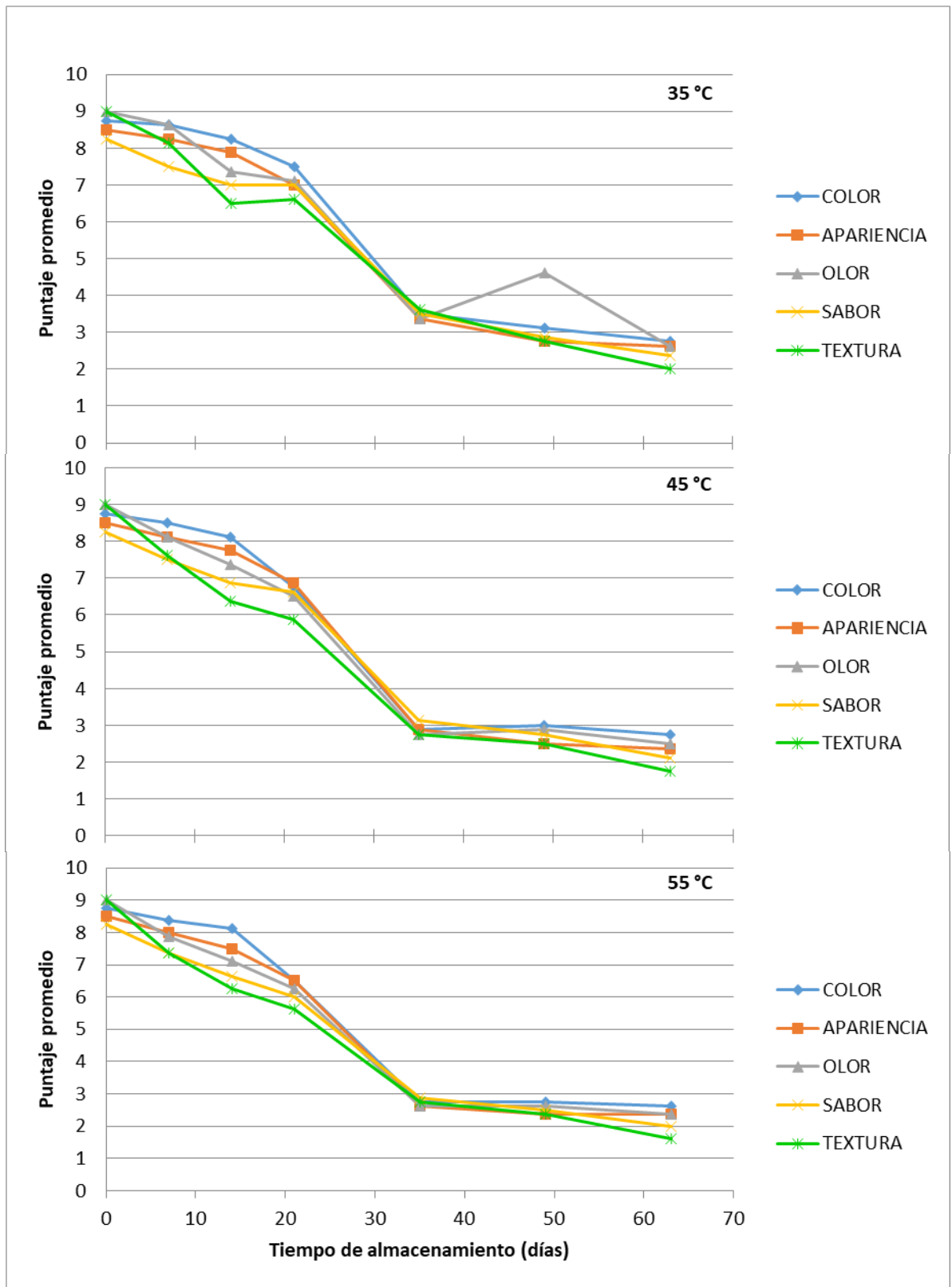


Figura 12: Evolución de los descriptores sensoriales del snack extruido, durante el almacenamiento a 35, 45, 55 °C para el empaque coextruido polietileno-poliamida

La característica principal de textura deseada para los alimentos secos es la crocantez que indica frescura y alta calidad (Jackson *et al.*, 1996). La crocantez de alimentos secos y porosos es una propiedad de textura, manifestada por una tendencia al rompimiento o fractura sin una deformación previa sustancial, cuando éstos son sometidos a una fuerza (Vickers *et al.*, 1976).

Asimismo, Anton *et al.*, 2007 nos dice que la textura es un atributo sensorial crítico que puede dominar la calidad de un producto, como en los aperitivos obtenidos mediante extrusión termoplástica. En los bocadillos extruidos, se desea la expansión y se esperan productos inflados, y es por eso que la textura juega un papel importante con respecto a la aceptabilidad de los bocadillos entre los consumidores.

Por otro lado, la temperatura de almacenamiento y el material de envasado tienen un gran impacto en las características físicas, microbiológicas y sensoriales del snack extruido. Los snacks extruidos tienen un carácter higroscópico. El potencial de absorción de la humedad disminuye la aceptabilidad general del producto como resultado de reducir la crocancia (Wani *et al.*, 2016). De igual manera, Kristott (2000) nos dice que la pérdida de crocantes y rancidez son los factores limitantes más importantes de la estabilidad al almacenamiento del snack.

Ramos (1991) menciona que la textura de los snacks está dada por el crujir de la hojuela que al morderla produce un ruido típico a sequedad perfecta, rechazándose snacks humedecidos que presentan textura “esponjosa” o “chiclosa” al morderlos.

4.2.3. Determinación del tiempo límite en función al valor límite del descriptor crítico sensorial

Los límites de aceptabilidad sensorial basados en puntajes hedónicos requieren una puntuación de corte que se decidirá, que a veces se selecciona de forma arbitraria. Por ejemplo, la inaceptabilidad puede determinarse como el tiempo de almacenamiento en el que la aceptación media alcanza 5.0 (ni me gusta ni me disgusta) en una escala hedónica de 9 puntos (Montes *et al.*, 2010), un puntaje de 6.5 (entre como ligeramente y como moderadamente) en una escala hedónica de 9 puntos (Muñoz *et al.*, 1992) o cualquier otro valor establecido por el panel sensorial.

Por tanto, de acuerdo con el panel de análisis sensorial del extruido se consideró que el nivel de inaceptabilidad del producto será menor a 5,5 en la escala de Karlsruhe que corresponde al valor límite para la comercialización del producto (Wittig, 1981). En el cuadro 12, se determinó el tiempo límite para los tres empaques, mediante el reemplazo del valor límite del nivel de inaceptabilidad del snack extruido en la ecuación de regresión del atributo textura-descriptor crítico sensorial- la cual se obtuvo en el acápite 4.2.2.

Cuadro 12: Ecuaciones de regresión del atributo textura, valor límite y tiempo límite para los 3 empaques

Empaque	T °C	Ecuación de regresión (atributo textura)	R²	Valor límite	Tiempo límite (días)
Polipropileno	35	$y = -0.0413x + 8.9901$	0.969	5.5	84.5061
Biorientado	45	$y = -0.0422x + 8.7120$	0.9764	5.5	76.1137
Metalizado	55	$y = -0.0498x + 8.6291$	0.9694	5.5	62.8333
Polipropileno	35	$y = -0.0973x + 9.4320$	0.962	5.5	40.4111
	45	$y = -0.1082x + 9.4047$	0.9795	5.5	36.0878
	55	$y = -0.1122x + 9.2252$	0.9868	5.5	33.2014
Coextruido	35	$y = -0.1159x + 8.6465$	0.9539	5.5	27.1484
Polietileno-	45	$y = -0.1176x + 8.2993$	0.9284	5.5	23.8036
Poliamida	55	$y = -0.1173x + 8.1669$	0.9315	5.5	22.7357

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Determinación de orden de reacción

Labuza (1999), menciona que para determinar el orden de reacción aparente se asume diferentes valores de n (0, 1 y más) y se prueba con un gráfico o un ajuste lineal a las ecuaciones correspondientes (Cuadro 3) de los datos experimentales. Si el experimento se ha llevado a cabo a por lo menos 50 % de conversión y preferentemente 75 % es normalmente fácil determinar qué orden de la reacción da mejores ajustes, o gráficamente usando la bondad estadística de criterio (R^2) de la regresión lineal es en la mayoría de los casos un criterio suficiente. La mayoría de las reacciones de alimentos que se han estudiado se ha caracterizado como pseudo-ceros (velocidad constante de deterioro) o primer orden (velocidad exponencial de deterioro).

Estudios de vida útil en alimentos realizados por Pfeiffer *et al.* (1999), nos presentan un cuadro (Cuadro 5), en el cual nos indica que generalmente los factores de calidad que controlan la vida útil de los snacks extruidos son la ganancia de humedad y la oxidación de lípidos.

Por tanto, para determinar el orden de reacción de deterioro del extruido, según factor de calidad humedad, se empleó el método de integración planteado por Labuza (2000), según la ecuación 3 (señalada en el acápite 2.7.1.1).

Los valores experimentales del factor de calidad humedad y tiempo, fueron reemplazados en el método de integración planteado por Labuza (2000) según la ecuación 3. Se determinó que el factor de calidad evaluado se ajusta mejor a un orden de reacción igual a cero ($n=0$), al presentar valores de coeficientes de determinación (R^2) mayores, comparados con los de primer orden, como se observa en el cuadro 13.

Asimismo, la evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a las temperaturas de 35, 45 y 55 °C, para los tres empaques de trabajo se muestran en las Figuras 13, 14 y 15, donde se observan las ecuaciones de regresión que serán utilizadas en el acápite 4.2.6.

Cuadro 13: Coeficientes de determinación lineal del Modelo de Labuza (Orden Cero) del factor de calidad humedad para cada empaque, en función a la temperatura

Empaques	R^2 (Orden de reacción 0)			R^2 (Orden de reacción 1)		
	35 °C	45 °C	55 °C	35 °C	45 °C	55 °C
Polipropileno Biorientado Metalizado	0.9587	0.9705	0.9108	0.9434	0.9655	0.9043
Polipropileno	0.5925	0.7269	0.6707	0.5823	0.7335	0.6542
Coextruido Polietileno-Poliamida	0.8412	0.7411	0.7239	0.8245	0.7405	0.7345

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14: Valores de humedad realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque polipropileno biorientado metalizado

35 °C		45 °C		55 °C	
Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)
0	4.890	0	4.890	0	4.8900
7	5.523	7	6.233	7	7.153
14	5.423	14	6.537	14	7.843
21	5.670	21	7.140	21	8.833
35	6.170	35	7.983	35	9.867
49	7.167	49	8.880	49	10.800
63	8.003	63	9.723	63	11.543

Fuente: Elaboración propia

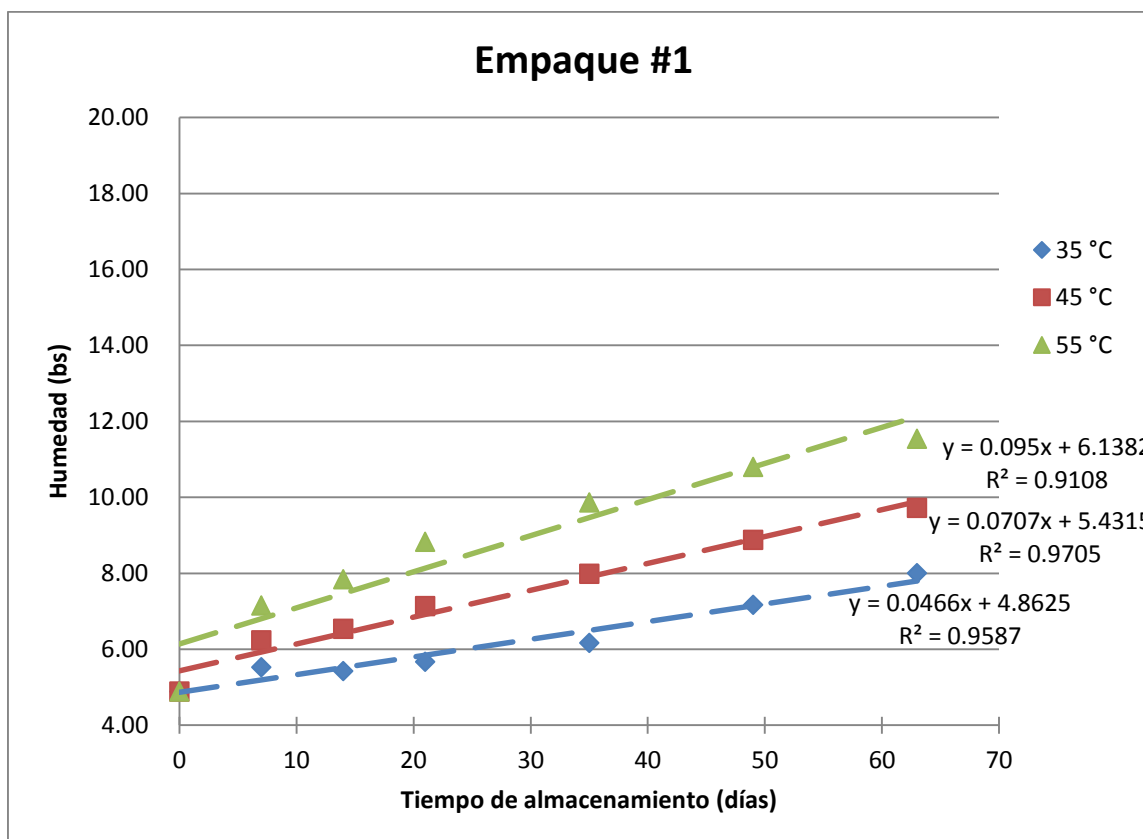


Figura 13: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque polipropileno biorientado metalizado

Cuadro 15: Valores de humedad realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque polipropileno

35 °C		45 °C		55 °C	
Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)
0	4.890	0	4.890	0	4.890
7	6.977	7	9.347	7	11.853
14	9.467	14	10.677	14	13.243
21	9.743	21	11.550	21	14.023
35	9.610	35	12.197	35	14.887
49	10.247	49	13.240	49	15.780
63	10.153	63	13.583	63	16.893

Fuente: Elaboración propia

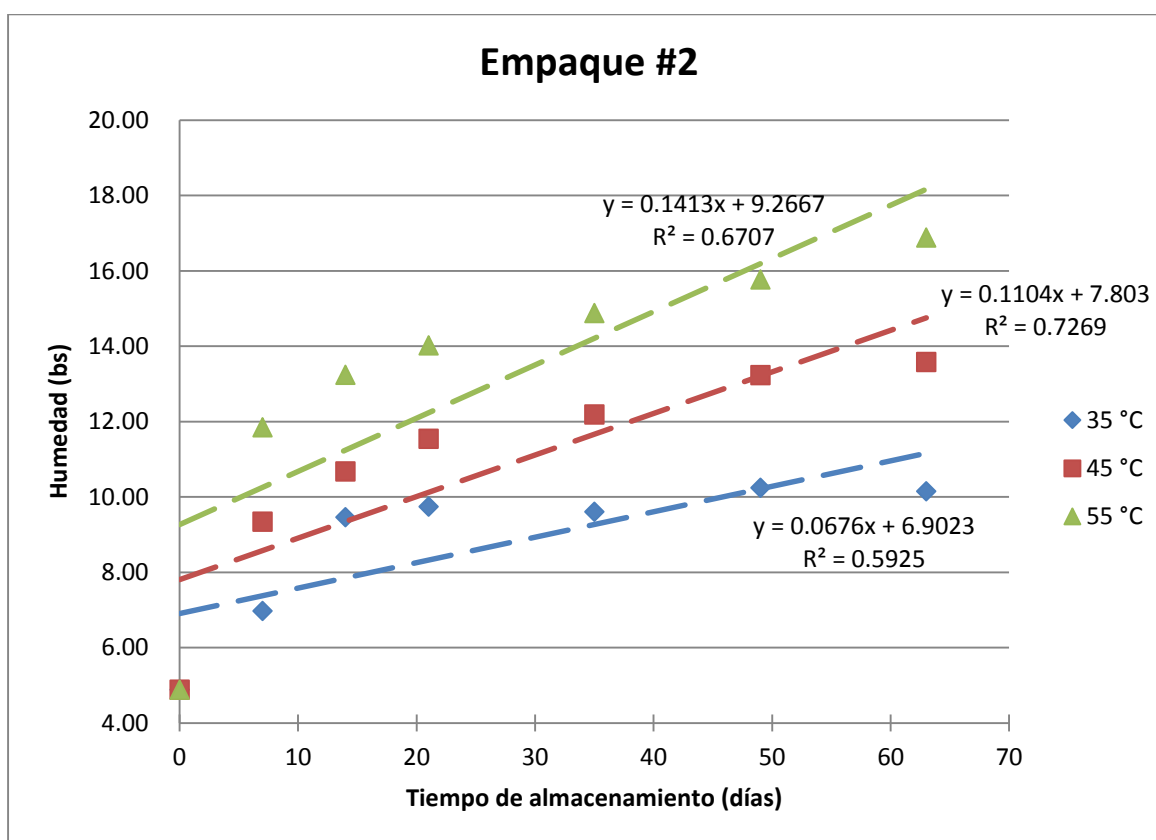


Figura 14: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque polipropileno

Cuadro 16: Valores de humedad, realizados al extruido para el almacenamiento en el empaque coextruido polietileno-poliamida

35°C		45°C		55°C	
Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)
0	4.890	0	4.890	0	4.890
7	8.350	7	10.127	7	11.927
14	7.897	14	10.140	14	12.437
21	9.207	21	11.823	21	14.450
35	10.820	35	12.967	35	15.263
49	11.223	49	13.750	49	16.223
63	11.980	63	14.150	63	17.543

Fuente: Elaboración propia

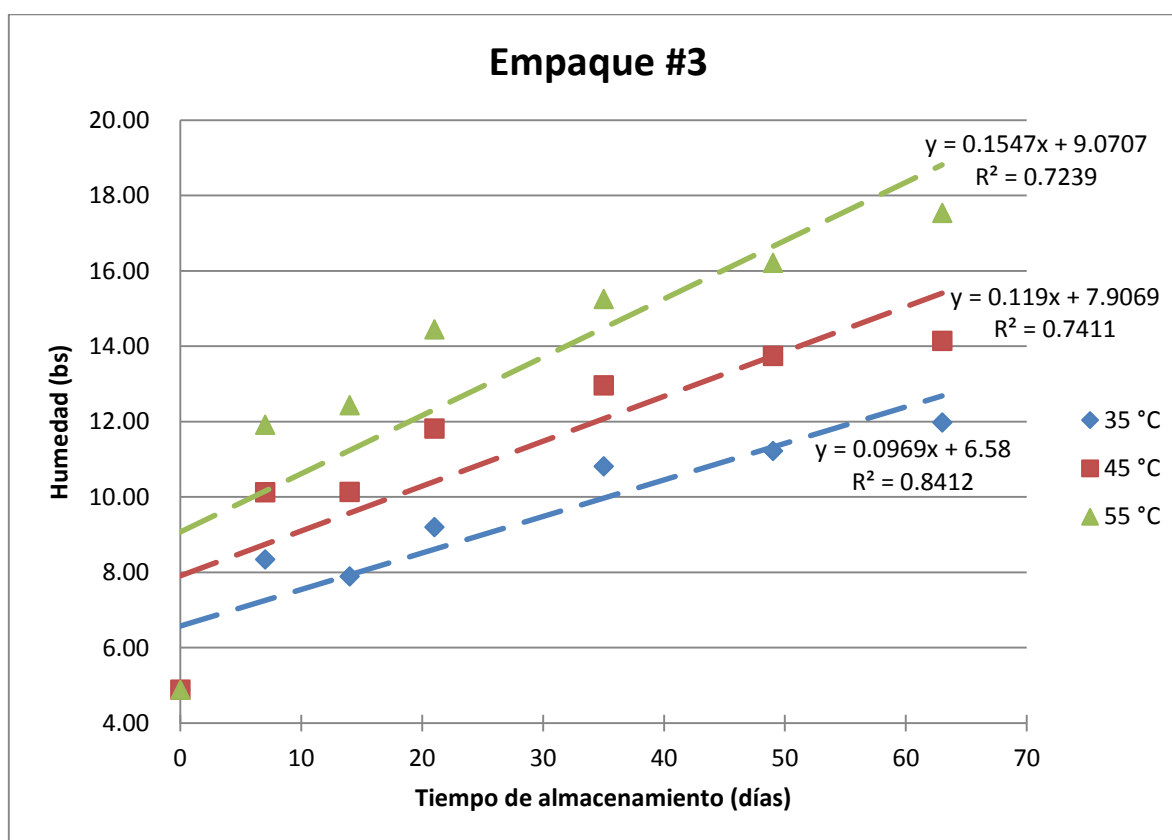


Figura 15: Evolución del factor de calidad humedad durante el almacenamiento a 35 °C, 45 °C y 55 °C en el empaque coextruido polietileno-poliamida

4.2.5. Determinación de la humedad crítica, mediante la relación del descriptor crítico sensorial y la humedad

El requerimiento más importante para obtener un modelo cinético de deterioro confiable, es la definición del índice de calidad apropiado a evaluar. Por ello, tomando en cuenta el Cuadro 5 adaptado de Pfeiffer *et al.* (1999) en el cual nos indican los factores de calidad que controlan la vida útil de algunos alimentos, tomamos como factor de calidad para snack extruidos a la ganancia de humedad.

Por tanto, teniendo en cuenta los tiempos límites hallados en el Cuadro 16 para el descriptor crítico sensorial textura, estos fueron reemplazados en las ecuaciones de regresión de humedad vs tiempo, teniendo en cuenta el orden de reacción ($n=0$) del factor de calidad humedad como observa en el Cuadro 17, con ello se obtuvo la humedad crítica respectiva para cada empaque a sus respectivas temperaturas.

Cuadro 17: Ecuaciones de regresión de humedad vs tiempo, tiempo límite y humedad crítica promedio para los 3 empaques a 35 °C

Empaque	T °C	Ecuación de regresión (humedad vs tiempo)	Tiempo límite (días)	Humedad crítica (%)
Polipropileno biorientado metalizado	35	$y=0.0466x + 4.8625$	84.506053	8.8005
Polipropileno	35	$y=0.0676x + 6.9023$	40.4111	9.6341
Coextruido polietileno-poliamida	35	$y=0.0969x + 6.5800$	27.148404	9.2107

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de humedad de un alimento se refiere al contenido global de agua. Los cambios en la humedad del producto impactan directamente la vida útil y la calidad del mismo y pueden darse pérdidas de textura, como la dureza del producto o pérdida de la crujencia (Belitz *et al.*, 1997).

La pérdida de crocantez en alimentos se produce por absorción de humedad. El agua afecta la textura por ablandamiento y plastificación (Katz *et al.*, 1981).

Asimismo, cabe mencionar que estas humedades críticas halladas serán utilizadas para determinar la vida útil del producto por cada empaque en el acápite 4.2.7.

4.2.6. Determinación de los valores de k (constante de velocidad)

Las constantes de velocidad K, fueron extraídos de las ecuaciones que se muestran en las Figuras 13, 14, 15, correspondientes a la relación del factor de calidad humedad a través del tiempo. En el Cuadro 18, se observan los valores de K extraídos, además de los datos utilizados para la construcción de la gráfica de Arrhenius planteado por Kilcast y Subramaniam (2000).

Cuadro 18: Valores de tiempo y K para la construcción de la gráfica de Arrhenius

Empaque	T °C	1/T (K ⁻¹)	K (día ⁻¹)	Ln K
Polipropileno biorientado metalizado	35	0.00324675	0.0466	-3.066154738
	45	0.00314465	0.0707	-2.649309706
	55	0.00304878	0.0950	-2.353878387
Polipropileno	35	0.00324675	0.0676	-2.694147296
	45	0.00314465	0.1104	-2.203645145
	55	0.00304878	0.1413	-1.956869989
Coextruido polietileno- poliamida	35	0.00324675	0.0969	-2.334075760
	45	0.00314465	0.1190	-2.128631786
	55	0.00304878	0.1547	-1.866267521

Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en el cuadro 18 existe un incremento de las constantes de velocidad de reacción (K) en función a la temperatura de almacenamiento. Labuza (1999) menciona que generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme aumenta la temperatura.

En las Figuras 16, 17, 18, se aprecian las gráficas de Arrhenius de los tres empaques construidos utilizando los valores del Cuadro 18, con la ecuación 4 de Arrhenius planteado por Kilcast y Subramaniam (2000) señalado en el acápite 2.7.2.1.

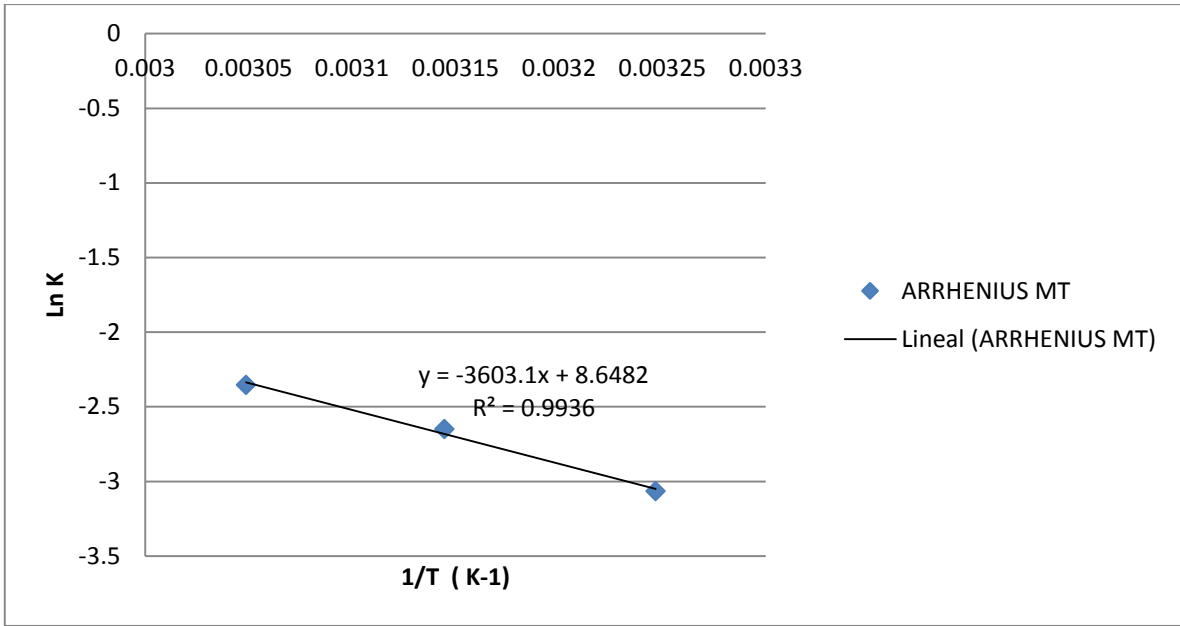


Figura 16: Gráfica de Arrhenius para el empaque polipropileno biorientado metalizado

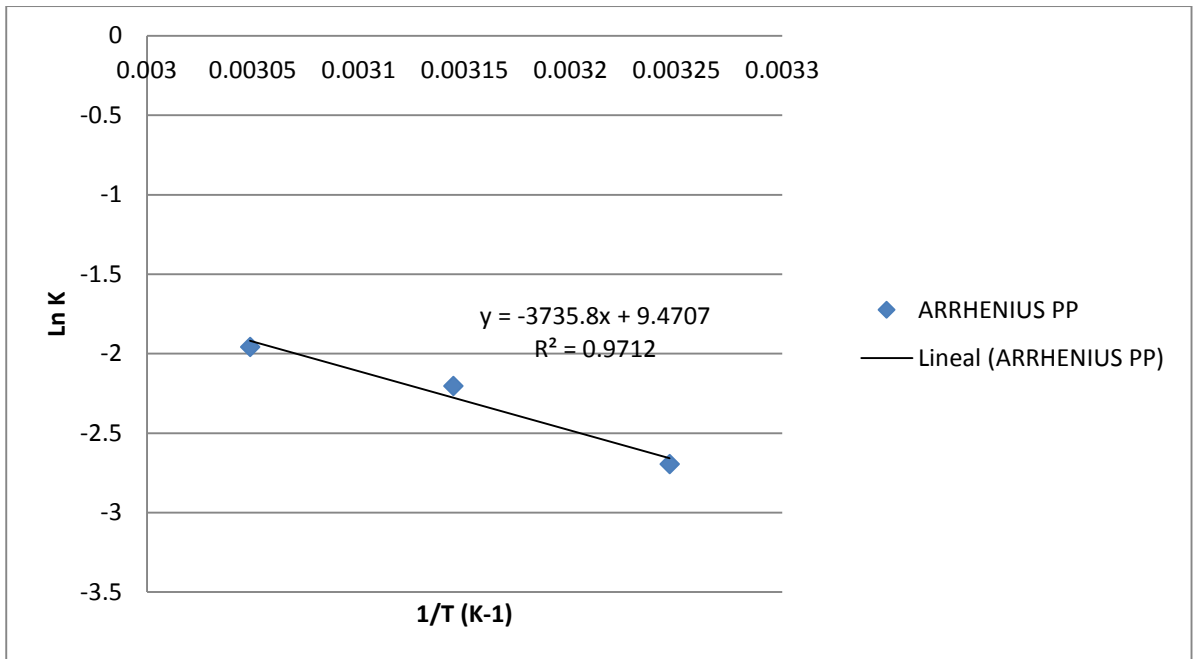


Figura 17: Gráfica de Arrhenius para el empaque polipropileno

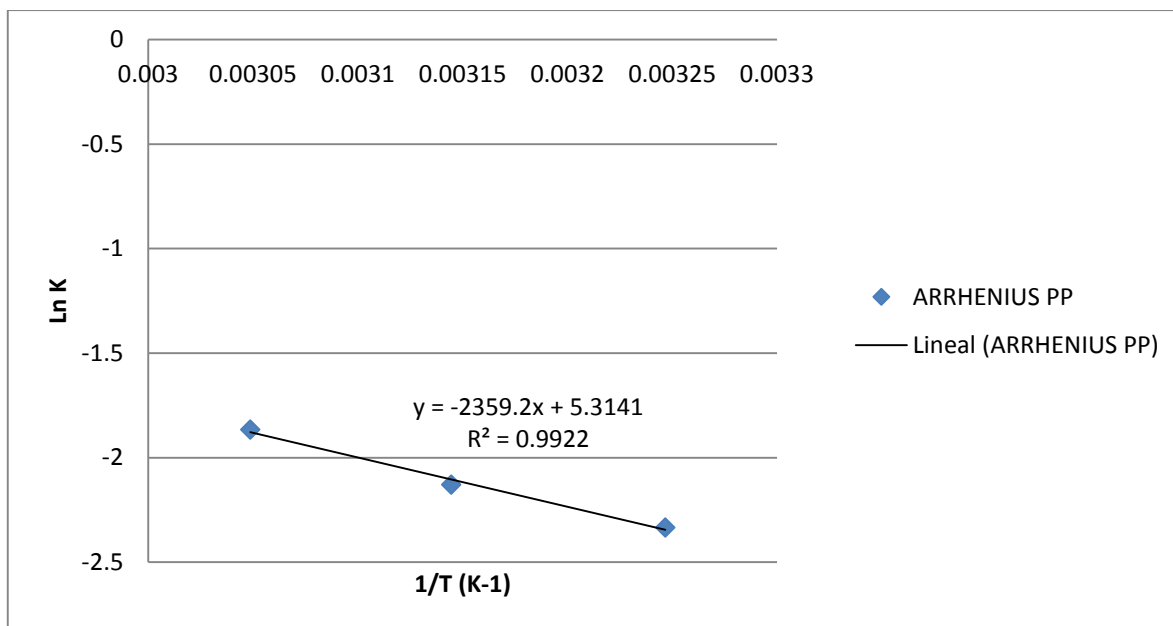


Figura 18: Gráfica de Arrhenius para el empaque coextruido polietileno-poliamida

En general, las velocidades de reacción aumentan con el aumento de las temperaturas. El modelo más común y ampliamente utilizado es la relación de Arrhenius, derivada de las leyes termodinámicas, así como los principios de la estadística mecánica. La relación de Arrhenius, desarrollado teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, se ha demostrado experimentalmente para sostener empíricamente varios y complejos fenómenos físicos - químicos (por ejemplo, viscosidad, difusión, sorción). Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos descritos por los modelos cinéticos antes mencionados, se ha demostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura (Labuza, 1999).

Gonzales (2001) señala que existe una dependencia de la temperatura con la velocidad de reacción. En un eje semi logarítmico, se tiene un ploteo lineal entre constante de velocidad y la inversa de la temperatura absoluta. Una energía de activación pequeña significa poca pendiente en la representación de Arrhenius y que la reacción es tan rápida que poca aceleración o activación se logra elevando la temperatura. Por el contrario, una energía de activación grande significa una reacción lenta, gran pendiente en la representación tipo Arrhenius, y que por tanto se activara sustancialmente al elevar la temperatura.

4.2.7. Estimación de la vida útil

La estimación de la vida útil del producto, se realizó a partir de las ecuaciones obtenidas en las gráficas de Arrhenius. Se obtuvieron valores R^2 igual 0.9938, 0.9712, 0.9923 para los empaques (Polipropileno biorientado metalizado, polipropileno, coextruido polietileno-poliamida respectivamente), ello indica que el 99.38 %, 97.12 %, 99.23 % de la variabilidad de la variable $\ln K$ (Logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción), es explicado por el modelo de regresión ajustado.

En el cuadro 19, se observan las constantes y valores determinados en las figuras 16, 17, 18 para posteriormente extrapolar la constante de velocidad de reacción (K) a temperatura ambiente 20 °C, mediante la ecuación de Arrhenius, Kilcast y Subramaniam (2000).

Cuadro 19: Constantes y valores determinados para obtención de la constante de la velocidad de reacción a temperatura ambiente 20 °C

Empaque	Ea/R	$\ln K_0$	R^2	R(J/mol.K)	Ea	K_0 (días-1)	K_{20}
Polipropileno biorientado metalizado	3603.1	8.6482	0.9936	8.314472	29957.874	5699.87771	0.0261795
Polipropileno	3735.8	9.4707	0.9712	8.314472	31061.204	12973.9658	0.0378946
Coextruido polietileno-poliamida	2359.2	5.3141	0.9922	8.314472	19615.502	203.181567	0.0649812

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se determinó el tiempo de vida útil del extruido a 20 °C, se reemplazó los siguientes valores: Constante de velocidad de reacción a 20 °C, el valor inicial (A_0) y el valor límite (A) de factor de calidad humedad en la ecuación propuesta por Labuza (1999). El valor A_0 (humedad inicial), fue obtenido al inicio del almacenamiento, como se muestra en los cuadros 14, 15, 16 mientras que el valor límite (humedad crítica) fue obtenido en el acápite 4.2.5.

Asimismo, en la ecuación de orden cero planteado por Labuza (1999) para determinar la vida útil del producto ($A=A_0 \pm K\Theta$) el signo negativo se utiliza si el deterioro es una pérdida de A y el signo positivo se emplea si es por producción de un producto final indeseable.

Por tanto, reemplazando en la ecuación:

Empaque polipropileno biorientado metalizado:

$$8.8005 \% = 4.89 \% + 0.0261795\Theta \Rightarrow \Theta_{20} = 149.3726 \text{ días} = 150 \text{ días}$$

Empaque polipropileno:

$$9.6341 \% = 4.89 \% + 0.0378946\Theta \Rightarrow \Theta_{20} = 125.1920 \text{ días} = 125 \text{ días}$$

Empaque coextruido polietileno-poliamida:

$$9.2107 \% = 4.89 \% + 0.0649812\Theta \Rightarrow \Theta_{20} = 66.4915 \text{ días} = 67 \text{ días}$$

El cuadro 20 muestra el tiempo de vida útil del snack evaluado en los tres tipos de empaques, podemos observar claramente que el empaque polipropileno biorientado metalizado fue el que tuvo mayor influencia en la reducción de la velocidad de deterioro y, por ende, obtuvo el mayor tiempo de vida de los 3 empaques. El incremento de tiempo de vida presentado, posiblemente se debe a que el empaque polipropileno biorientado metalizado tiene una menor velocidad de transmisión al vapor de agua, por tanto, el producto gana menos humedad -factor crítico del deterioro del producto- durante su almacenamiento a diferencia de los otros dos empaques.

Cuadro 20: Tiempo de vida útil para cada empaque estudiado a temperatura ambiente (20 °C)

Empaque	Tiempo de vida útil (días)
Polipropileno biorientado metalizado	150
Polipropileno	125
Coextruido polietileno-poliamida	67

Fuente: Elaboración propia

4.2.8. Valor Q_{10}

Luego, esta ecuación de Arrhenius (Señalado en el acápite 2.7.2.1) también nos permite predecir, bajo ciertas limitaciones, el comportamiento de la constante de velocidad de una reacción para una temperatura estudiada y cualquier otra temperatura diferente a la del ensayo. Una de las variantes de esta dependencia es el valor de Q_{10} , el cual se define como el número

de veces que varía la velocidad de una reacción con un cambio de 10 °C en la temperatura (Toledo, 1991). En el cuadro 21 se pueden observar que el empaque Polipropileno arroja un mayor incremento de la velocidad de reacción cuando se incrementa la temperatura en 10 °C (35-45 °C) en comparación del empaque polipropileno biorientado metalizado y coextruido polietileno-poliamida, este último presenta un menor incremento, entendiéndose que este empaque ofrece una mejor barrera en el incremento de la velocidad de reacción; sin embargo, estos valores Q_{10} sirven como referencias iniciales ya que no tienen mayor precisión, debido a que solo miden el incremento de la velocidad de reacción entre dos temperaturas.

Cuadro 21: Valor de Q_{10} para los tres tipos de empaques en los rangos de temperatura de 35-45 y 45-55 °C.

Empaque	Rango Temperatura (°C)	Valor Q_{10}
Polipropileno Biorientado Metalizado	35-45	1.52
	45-55	1.35
Polipropileno	35-45	1.63
	45-55	1.28
Coextruido Polietileno-Poliamida	35-45	1.23
	45-55	1.30

Fuente: Elaboración propia

4.3. Estimación de la vida útil en alimentos empacados sensibles a humedad

4.3.2. Caracterización de empaques

Los resultados de los análisis a los tres empaques se muestran en el Cuadro 22. Se observa, que el empaque con una mayor propiedad barrera es el polipropileno biorientado metalizado, seguido por el polipropileno, y finalmente por el coextruido polietileno-poliamida. Un tiempo de vida alto requiere que el empaque tenga baja permeabilidad a la humedad, gases (principalmente O_2 y CO_2), y compuestos volátiles.

Cuadro 22: Resultado de análisis realizados a los empaques usados

Análisis	Polipropileno biorientado metalizado	Polipropileno	Coextruido polietileno-poliamida
Espesor (μm)	30 μm	50 μm	40 μm
Dimensiones (cm^2)	14x18	13x18	14x18
Permeabilidad al Vapor de agua (PVA) ($\text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot 24\text{h}\cdot\text{mmHg}$)* 10^{-2}	0.0992	0.2260	0.2955

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, Jena *et al.* (2012) indican que, para la predicción de la vida útil de un alimento empacado sensible a la humedad, se debe tener en cuenta dos fenómenos, estos son: primero, el transporte de vapor de agua a través del empaque y segundo, la absorción de agua por el alimento.

Además, Sharma *et al.* (2003) mencionan que el empaque cumple dos funciones: la primera, proteger la vida de anaquel de los alimentos hasta un grado predeterminado, y la segunda, atraer la atención de los consumidores en los sitios de venta. Las velocidades del movimiento de la humedad o el oxígeno controlan la vida de anaquel de los alimentos deshidratados y son las propiedades más importantes de los materiales de empaque. El vapor de agua o los gases como O_2 , N_2 o CO_2 son capaces de atravesar los materiales de empaque pasando por poros microscópicos o por medio de difusión activa originada por gradientes de concentración.

El empaque polipropileno biorientado metalizado presenta una baja permeabilidad al vapor de agua a diferencia de los otros dos empaques, debido a que el recubrimiento con metal generalmente aluminio es un proceso que mejora las propiedades de barrera de las películas transparentes, reduciendo la permeabilidad al vapor de agua desde 7.9 a 0.04 – 1.1 $\text{g}\cdot\text{mil}/\text{m}^2\cdot\text{dia}\cdot\text{atm}$ (Mount III, 2003).

Asimismo, se determinó la vida útil del snack extruido mediante otra metodología mencionada en el acápite 3.3.2 como se observa en el cuadro 23.

Cuadro 23: Estimación de la vida útil mediante la metodología de permeabilidad

	Empaque		
	Polipropileno biorientado metalizado	Polipropileno	Coextruido polietileno-poliamida
m_e (g.agua/g.ms)	0.349	0.349	0.349
m_i (g.agua/g.ms)	0.0489	0.0489	0.0489
m_c (g.agua/g.ms)	0.1057	0.1057	0.1057
P (g- μ m/día- m^2 -mmHg)	0.992	2.26	2.955
A (m^2)	0.0252	0.0234	0.0252
P_{sat} a 20 °C (mmHg)	17.5	17.5	17.5
E (μ m)	30	50	40
b	0.2943	0.2943	0.2943
W_s (g ms)	38.044	38.044	38.044
Vida útil (días)	161	127	72

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 23 se puede observar que los tiempos de vida útil determinados mediante esta metodología para cada empaque (Polipropileno biorientado metalizado, polipropileno, coextruido polietileno-poliamida) son similares a los determinados mediante la metodología basada en el deterioro cinético (acápite 4.2.7).

La vida útil de los alimentos de baja humedad como los snacks extruidos se ven afectados por muchos factores, incluyendo las características de sorción de humedad de los alimentos, la permeabilidad a la humedad de la película de envasado y el ambiente externo (temperatura y humedad relativa) (Hao *et al.*, 2005).

Kocherla *et al.* (2012), Shaviklo *et al.* (2011), Sumathi *et al.* (2007) estimaron el tiempo de la vida útil en snacks extruidos entre 60-180 días. Asimismo, Shaviklo *et al.* (2011) señala que la vida útil de snack de maíz y pescado extruidos almacenados a 27 °C es de 180 días.

El Cuadro 6 citado por Chau (2002) elaborado por el IFT (1981b), nos muestra el tiempo de vida útil de diferentes alimentos clasificados en perecibles, semiperecibles y no perecibles el cual nos arroja que el tiempo promedio de vida útil de snacks fritos está entre 3-12 semanas (21-84 días), el cual podría asemejarse al producto evaluado en la presente investigación (snack extruido). Finalmente, el empaque polipropileno biorientado metalizado supera claramente en tiempo de vida útil a los demás empaques evaluados y a los valores encontrados por otros autores citados líneas atrás, por tanto, el empaque ideal para el almacenamiento en anaquel del producto investigado sería el polipropileno biorientado metalizado.

4.4. Determinación de la máxima estabilidad mediante la isoterma de sorción

4.4.1 Desarrollo de la actividad de agua

Las variaciones de actividad de agua en el tiempo según temperatura de almacenamiento y tipo de empaque se observa en las Figura 18, inicialmente todas las muestras almacenadas en la condiciones planteadas en la experimentación parten de una a_w (0.266) los microorganismos no proliferan a bajas actividades de agua, siendo los hongos los más resistentes, que pueden desarrollarse a valores de $a_w \approx 0,6$. Por lo tanto, con la actividad de agua que posee este producto es poco probable que ocurra desarrollo microbiano. Se señala que alimentos secos y estables seguramente tienen a_w por debajo de 0,6 (Labuza, 1980).

Badui (2006), menciona que al ser un potencial químico, la diferencia de a_w que existe entre el exterior y el alimento, o incluso entre sus propios ingredientes, causa la migración del agua. El material del envase es fundamental, ya que si este es permeable y el alimento se almacena en una atmosfera de humedad relativa mayor que la de equilibrio, habrá una migración hacia el interior (higroscopicidad) y la a_w se incrementara; por el contrario si la humedad externa es inferior, se deshidratara. Aun cuando el material de empaque sea totalmente impermeable, la actividad puede incrementar con la temperatura.

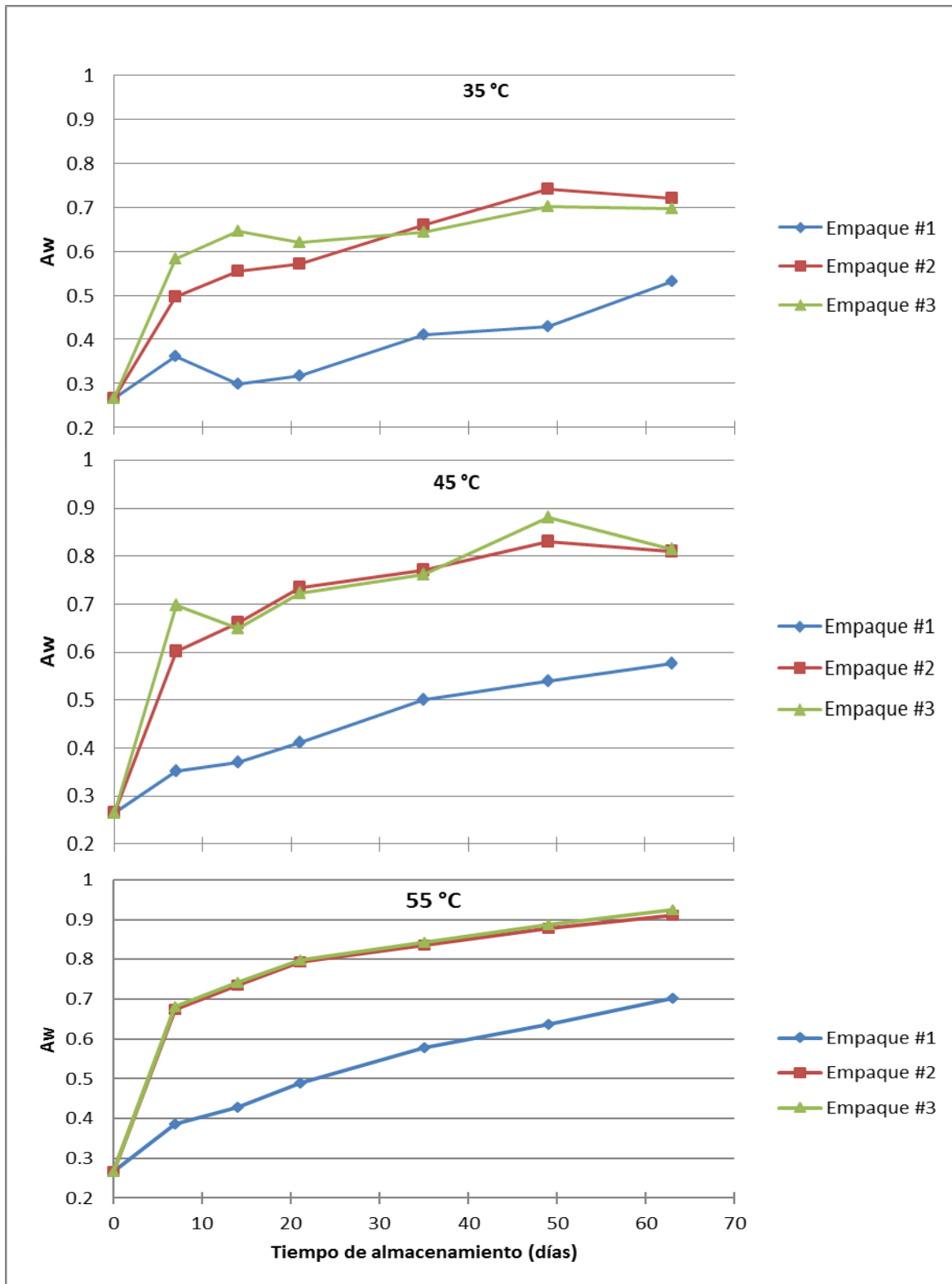


Figura 19: Desarrollo de la actividad de agua (aw) en los tres tipos de empaques en condiciones de 35, 45, 55 °C de almacenamiento

Risbo (2003a) manifiesta que las diferencias entre la actividad de agua del alimento y el medio ambiente externo fuera del empaque produce una fuerza impulsora para el transporte de agua. El transporte de agua cesa cuando las actividades de agua convergen a un valor de equilibrio común. En consecuencia, tanto las propiedades de equilibrio y la cinética de transporte de agua son de suma importancia, desde el punto de vista de textura, químicos y la estabilidad microbiológica, por lo que la vida útil está limitada por el transporte de agua.

La isoterma de sorción del snack extruido a 20 °C de temperatura se presenta en la figura 19. Se observa una curva sigmoidea en forma de S de tipo II. Varios investigadores observaron un tipo de curva similar para las muestras extruidas (Lazou *et al.*, 2011; Norajit *et al.*, 2011). La curva sigmoidea resultante, es producida por la combinación de efectos coligativos, efectos capilares, e interacciones superficie – agua. Dos puntos de inflexión son evidenciados en la isoterma tipo II, el primero alrededor de 0.2 – 0.4 de a_w y el segundo a 0.65 – 0.75 a_w , como resultado de los cambios físico – químicos (Bell y Labuza, 2000).

La pérdida o ganancia de humedad a través de un empaque, depende, de la isoterma de sorción del alimento, las condiciones de temperatura y humedad relativa de almacenamiento, y la permeabilidad al vapor de agua del empaque (Cardoso y Labuza, 1983).

Los datos experimentales son ajustados generalmente a diferentes modelos. Existe una gran variedad de ellos, utilizados para describir el comportamiento de las isotermas de sorción. El modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB)-(Van den Berg *et al.*, 1981), ha sido el más utilizado ya que: a) tiene bases teóricas, b) describe el comportamiento de la sorción en un rango amplio de a_w (0 – 0.9), c) su parámetro tiene significado físico y d) se pueden describir los efectos de la temperatura. Al ser un modelo de amplia utilización, permite comparar los valores de sus constantes con los obtenidos en otros productos por otros investigadores. Una de las constantes que se obtiene con este modelo nos permite predecir el valor del contenido de humedad de la monocapa (X_m) relacionado a la máxima estabilidad química del producto. Además, las isotermas de sorción se utilizan para determinar el punto final de secado y para el modelado y la simulación de estas operaciones (Myhara *et al.*, 1998; Palout *et al.*, 1997 citados por Garcia *et al.*, 2007). Asimismo, El modelo que mejor se ajusta a

la forma completa de la isoterma típica de forma sigmoïdal, es el de Guggenheim-Anderson-De Boer (GAB); se ajusta con precisión a varios cientos de isotermas de alimentos, en el rango de a_w entre 0 – 0.9 (Barbosa y Vega, 2000).

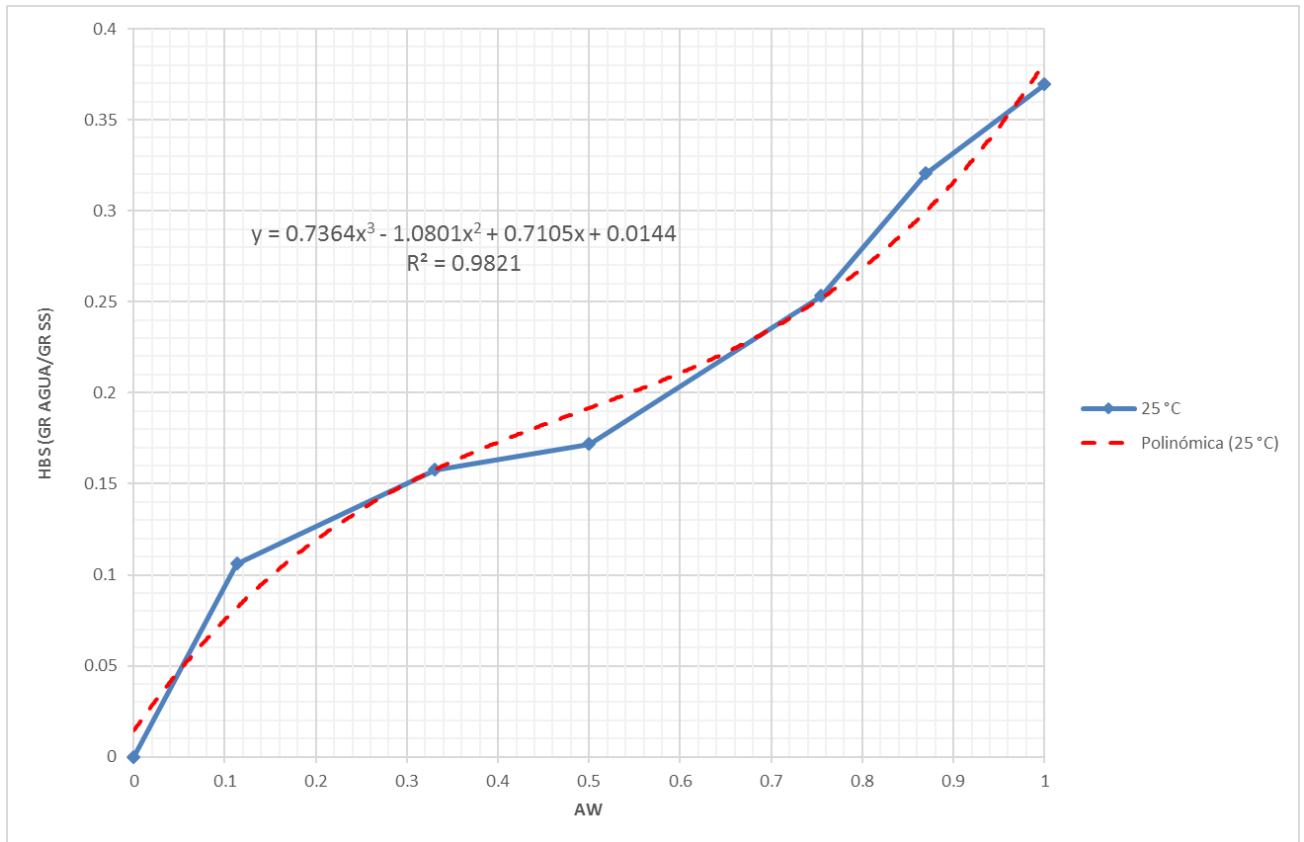


Figura 20: Isoterma de sorción del snack extruido a 25 °C

El cuadro 24, muestra los parámetros del modelo matemático de sorción de humedad GAB (mencionados en el acápite 2.4.1.3), obtenidos mediante análisis de regresión de los valores de humedad de equilibrio del snack extruido a diferentes actividades de agua, para la temperatura de 25 °C (temperatura ambiente).

Cuadro 24: Parámetros del modelo matemático de sorción GAB obtenidos del snack extruido

Modelo matemático de sorción GAB		
Temperatura	Parámetros	Valores
25 °C	r^2	0.9634
	X_m	0.1196
	K	0.6935
	C	137.9829

Fuente: Elaboración propia

Se observa del cuadro 24 que el valor de la monocapa (X_m) es 11.96 g/100 m.s. es decir en este punto se da la máxima estabilidad del producto y que a partir de éste el producto aumentará su capacidad de adsorción de humedad en el equilibrio, por tanto, disminuirá su calidad. Asimismo, el valor del contenido de humedad monocapa del producto (X_m) nos indica la cantidad de agua que se adsorbe fuertemente a sitios específicos en la superficie del alimento y se considera como el contenido de humedad que proporciona el período de tiempo más largo con una mínima pérdida de calidad a una temperatura dada (Goula *et al.*, 2008).

Cabe mencionar, que las ecuaciones de BET y GAB predicen el contenido de humedad de la monocapa (X_m) y pueden ser consideradas como las más útiles para determinar las condiciones óptimas de humedad y por consiguiente asegurar la estabilidad durante el almacenamiento especialmente para alimentos secos. La humedad de la monocapa es la cantidad de agua (g agua/g ms) que está fuertemente unida en todos los sitios activos de la fase sólida adsorbente del alimento y es considerada como el valor en la cual el alimento es estable durante el almacenamiento (Arslan *et al.*, 2006)

El valor crítico de a_w para alimentos snack crocantes basados en mixturas de almidón/proteínas es $a_w = 0.35 - 0.50$ (Taoukis *et al.*, 1998).

Por otro lado, C y K son constantes de energía. C representa la diferencia de potencial químico de las moléculas de soluto entre capas de sorción superiores y la monocapa, y K es la relación entre el potencial químico de las moléculas de soluto en estado líquido puro y en capas de

sorción superiores (Timmermann *et al.*, 2001). De acuerdo a Chirife *et al.* (1999), los valores de K son inferior a la unidad, como se puede observar en el snack evaluado (0.6935).

4.5. Análisis químico

4.5.1 Variación del índice peróxido

Los productos extruidos son generalmente susceptibles a la oxidación de los lípidos debido a su bajo contenido de humedad, al aumento de área superficial resultante de la expansión y presencia de hierro, un catalizador para la oxidación del desgaste de tornillos (Barden, 2014; Camire, 2001; Ekwenye, 2006). Se recomienda un valor máximo de peróxido de 5meq/kg para snacks extruidos de maíz listos para comer (Bechtel, 2002). Sin embargo, como se observa en el cuadro 25, para los tres tipos de empaques y a las diferentes temperaturas de almacenamiento el valor peróxido que arrojo fue de 0.00 (Miliequivalentes/Kg de grasa extraída), probablemente esto se deba a que el contenido de grasa del snack antes de su almacenamiento fue de 0.40 (g/100 g de muestra), la fracción lipídica expuesta a oxidación es mínima, por tanto, la formación de peróxidos es mínima siendo imperceptibles para su cálculo.

Cuadro 25: Valor peróxido de los tres tipos de empaques a las temperaturas de 35, 45, 55 °C de almacenamiento

Empaque polipropileno biorientado metalizado, polipropileno, coextruido polietileno-poliamida	
Tiempo de almacenamiento (días)	Valor Peróxido (meq O ₂ /Kg)
0, 7, 14, 21,35, 49, 63	0

Fuente: Elaboración propia

4.6. Análisis microbiológico

Los resultados microbiológicos se muestran en el Cuadro 26. Los controles microbiológicos fueron diseñados como un control, con la finalidad de proteger la salud de los panelistas. Esto

es particularmente importante cuando efectúan evaluaciones sensoriales, donde se debe tener especial cuidado en asegurar que los riesgos sean minimizados.

Cuadro 26: Resultados de recuentos microbiológicos para los tres empaques

Empaque polipropileno biorientado metalizado (T° de almacenamiento 35, 45 y 55 °C)		
Tiempo de almacenamiento (días)	Recuento de Mohos (UFC/g)	Recuento de Levaduras (UFC/g)
0	<100	<100
7	<100	<100
14	<100	<100
21	<100	<100
35	<100	<100
49	<100	<100
63	<100	<100
Empaque polipropileno (T° de almacenamiento 35, 45 y 55 °C)		
Tiempo de almacenamiento (días)	Recuento de Mohos (UFC/g)	Recuento de Levaduras (UFC/g)
0	<100	<100
7	<100	<100
14	<100	<100
21	<100	<100
35	<100	<100
49	<100	<100
63	<100	<100
Empaque coextruido polietileno-poliamida (T° de almacenamiento 35, 45 y 55 °C)		
Tiempo de almacenamiento (días)	Recuento de Mohos (UFC/g)	Recuento de Levaduras (UFC/g)
0	<100	<100
7	<100	<100
14	<100	<100
21	<100	<100
35	<100	<100
49	<100	<100
63	<100	<100

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los recuentos microbiológicos para los tres tipos de empaques no superaron los valores de mohos y levaduras permitidos por la NTS N°071 (MINSA-DIGESA,

2008) para productos extruidos 10^3 UFC/g, durante el tiempo de almacenamiento. Esto indica que el snack evaluado es apto para consumo.

La mayoría de los mohos se desarrollan entre 15 °C y 30 °C con un óptimo de crecimiento alrededor de 20 – 25 °C, algunos resisten temperaturas muy bajas, sus esporas sobreviven y permanecen aptas para germinar cuando se recuperan las condiciones normales (Man, 2004).

Fennema (2000) señala que la actividad microbiana de la mayoría de bacterias es inhibida a a_w inferiores a 0.9, la mayoría de levaduras a a_w inferiores 0.8; y la mayoría de hongos a a_w inferiores a 0,7. En general, prácticamente toda la actividad microbiana es inhibida a a_w inferiores a 0.6.

4.7. Análisis estadístico

En la evaluación estadística (anexo 4), se determinó que a un nivel de significación del 5 por ciento que si existencias diferencias significativas entre el empaque polipropileno biorientado metalizado respecto al empaque polipropileno y empaque coextruido polietileno-poliamida al evaluar el factor de calidad humedad.

V. CONCLUSIONES

1. La vida útil a 20 °C del producto snack extruido, por el método de pruebas aceleradas, en el Empaque #1, Polipropileno Biorientado Metalizado de PVA 0.0992 (g*mm/m²*24h*mmHg)10⁻² fue de 150 días, en el Empaque #2, Polipropileno de PVA 0.2260(g*mm/m²*24h*mmHg)10⁻² fue de 125 días, y en el Empaque #3, Coextruido Polietileno-Poliamida de PVA 0.2955 (g*mm/m²*24h*mmHg)10⁻² fue de 67 días.
2. La vida útil del producto snack extruido, por el método de ganancia de humedad, en el Empaque #1, Polipropileno Biorientado Metalizado fue de 161 días, en el Empaque #2, Polipropileno fue de 127 días, y en el Empaque #3, Coextruido Polietileno-Poliamida fue de 72 días.
3. Se encontró que el atributo textura fue el que tuvo la mayor influencia en la disminución de la calidad sensorial durante el almacenamiento, siendo el descriptor crítico sensorial con el que se relacionó el factor de calidad humedad para determinar la humedad crítica del producto en los tres empaques evaluados.
4. La isoterma de sorción a 25 °C del snack extruido, muestra un comportamiento similar correspondiente al tipo de isoterma II de acuerdo a la clasificación de BET ($r^2 > 0,95$).
5. La isoterma de sorción del snack extruido se ajusta al modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB), obteniéndose como valor de la monocapa ($X_m = 0.1196$ gr agua/gr m.s.).
6. El análisis estadístico mostró que, existen diferencias significativas entre los tiempos de vida útil del empaque polipropileno biorientado metalizado respecto a los empaques polipropileno y polipropileno biorientado metalizado, al usar un nivel de significación del 5 por ciento. El mejor empaque para almacenar el snack extruido es el polipropileno biorientado metalizado.

VI. RECOMENDACIONES

1. Usar el software para predecir la vida útil del snack extruido para respaldar los resultados obtenidos mediante el modelo Arrhenius.
2. Respalda los resultados sensoriales con un método instrumental donde se pueda establecer una correlación.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- ANTON, A., LUCIANO, F. 2007. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review Food Science and Technology, 5 (4) pp. 245-251.
- ARSLAN, N. AND TOGRUL, H. 2006. The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity, J. Stored Prod. Res., 42, 112-135.
- BADUI, S. 2006. Química de los Alimentos. Programas educativos S. A. México, D.F.
- BARBOSA CÁNOVAS, G – VEGA MERCADO, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. 296 p.
- BARDEN, L. M. (2014). Understanding lipid oxidation in low-moisture food (Doctoral dissertation). University of Massachusetts Amherst, Massachusetts, USA.
- BECHTEL, P.J. 2002. Snack foods of animal origin, in Snack Foods Processing, ed. by Lusas EW and Rooney LW. CRC Press, New York, pp. 421–432.
- BELITZ, H. D. AND GROSH, W. 1997. Química de los Alimentos. Editorial Acribia. España.
- BELL, L. N. y LABUZA, T. P. 2000. Moisture Sorption Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use. 2da ed. American Association of cereals Chemists, Inc. Minnesota. 122 p.
- BRODY, A.L. 1970. Flexible Packaging of Foods, CRC Press. Cleveland, OH.
- BRODY, A. L. 2003. Predicting Packaged Food Shelf Life. Food Technology. 57(4) 100 – 102.
- CALDERON, S.; CUBERO, E.; PINEDA, M. L.; MORALES, I. 2005. Vida útil de Alimentos. CITA. UCR. San José.
- CALLEJO, M. 2002. Industrias de cereales y derivados. AMV ediciones. Madrid. pp. 313 – 340.
- CAMIRE, M. E. 2001. Extrusion and nutritional quality. In R. Guy (Ed.), Extrusion cooking, technology and application. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited

- CARDOSO, G. AND LABUZA, T. 1983. Prediction of moisture gain and loss for packaged pasta subjected to a sine wave temperature/humidity environment. *J. Food Technology*.18, 587-606.
- CARRILLO, L. 2003. Los hongos de los alimentos y Forrajes. Universidad Nacional de Salta. Impreso en Argentina.
- CHIRIFE, J., TIMMERMANN, O., IGLESIAS, A., BOQUET, R. 1999. Some features of parameter K of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. *Journal Food Eng.* 15, 75-82.
- CISNEROS, F. 2000. Extrusion de Alimentos. Curso de extensión. USIL. Lima, Perú.
- COSTELL, E. y DURAN, L. 1981b. El análisis sensorial en el control de calidad de los alimentos. II. Planteamiento y planificación – selección de pruebas. *Agroquímica y Tecnología Alimentaria*. Vol. 21. No. 2 149 – 166 p.
- DEL NOBILE, M. A.; BUONOCORE, G. G.; LIMBO, S.; y FAVAP, P. 2003. Shelf life Prediction of Cereal – Base Dry Foods Packed in Moisture – sensitive Films. *Journal of Foods Science*. Vol 68 N° 4. Pag. 1282 - 1300
- DETHMERS, A. 1979.Utilizing sensory evaluation to determine product shelf life. *Food Technology*, September. 40-42
- DETHMERS, A. and RODRIGUEZ, N. 1975. Sensory Panel. *Journal of Food Science*. Vol 39, July – Agosto
- ELLIS, M. J. 1994. The methodology of shelf life determination. In *Shelf Life Evaluation of Foods* (pp. 27-39). Springer US.
- EKWENYE, U. N. 2006.Chemical characteristics of palm oil biodeterioration. *Biokemistri*, 18(2), 141–149.
- ESPINOZA, C. K. 2018. Desarrollo de un snack extruido a base de maíz enriquecido con concentrado proteico de pota (*Dosidicus gigas*) y determinación de su vida útil. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. UNALM. Lima, Perú.
- FELBER, R. B. 1981. Package engineering. December, 53 – 55.
- FELBER R. 1985. Accelerated lab test help predict moisture gain. Curso permeability and Shelf Life. Michigan State University. USA.
- FENNEMA, O. R. 2000. Química de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza España.

- GARCIA, S. V., SCHMALKO, M. E., TANZARIELLO, A. 2007. Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones. INTA, Argentina. RIA, 36 (1): 115-129.
- GONZÁLES, A. 2001. Cinética Química. Editorial Síntesis S. A. Impreso en España. Proyecto editorial.
- GOULA, A. M., KARAPANTSIOS, T. D., ACHILIAS, D. S., AND ADAMOPOULOS, K. G. 2008. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. Journal of Food Engineering, 85, 73-83.
- GUY, R. 2002. Extrusión de los Alimentos: Tecnologías y Aplicaciones. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- HAO, F., LU, L., AND WANG, J. 2005. Finite element simulation of shelf life prediction of moisture-sensitive crackers in permeable packaging under different storage conditions. Journal Food Processing and Preservation. 40(2016) 37-47.
- HARPER, J. M. 1981. Extrusion of Foods. CRC Press Inc. Florida, USA
- HODSON DE JARAMILLO, E. 1996. Procesamiento y conservación de alimentos en América Latina. Ediciones Colciencias. Bogotá, Colombia.
- HOLLINGSWORTH, P. 1995. Healthier breathe new life into languishing category. Food Technology. July. 58 – 62 p.
- HOOTMAN, R. C. 1992. Manual on descriptive analysis testing of sensory evaluation. ASTM. Philadelphia. 52 p.
- HOUGH, G., FISZMAN, F. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. 1. Ed. Madrid, ES. 114.p
- HURTADO, F. 1986. Productos expandidos con el cañón esponjador. Taller Feria: “Desarrollo de la pequeña y media industria alimentaria latinoamericana”.
- IFST. 1993. Shelf Life of Foods. Guidelines for its Determination and Prediction. London: Institute of Food Science and Technology.
- I.F.T. 1974. Shelf life of Foods. Report of an expert panel. Food Technology. USA 45-48
- I.F.T. 1981. Sensory Evaluations Guide for Testing Food and Beverage Products. Food Technology. U.S.A. 35: 50-58

- ILLANES, E., J. 2004. Envases flexibles plásticos: Uso y aplicación en la industria alimentaria. Tesis para optar el grado de Licenciado en Ingeniería de Alimentos. Universidad Austral de Chile.
- ISO (International Organization for Standardization). 1995. ISO 2528: 1995. Sheet Materials – determination of water vapour transmission rate – Gravimetric (dish) method. 11 p.
- ITINTEC. 1984. Norma Técnica Peruana ITINTEC 209.226: Bocaditos. Requisitos. Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC). INDECOPI. Lima, Perú.
- JACKSON, J. C., BOURNE, M. AND BARNARD, J. 1996. Optimization of Blanching for Crispness of Banana Chips Using Response Surface Methodology J. Food Science. 61:165-166.
- JENA, S., DAS, H. 2012. Shelf life prediction of aluminium foil laminated polyethylene packed vacuum dried coconut milk powder. J. Food Eng. 108, 135–142.
- JONHSON, J.; BRADDOCK, R. Y CHEN, C. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: experimental rate constants. Journal Food Sci. (48), pag.: 1617 – 1621.
- KAREL, M. 1974. Quantitative analysis of food packaging and storage stability problems. Food Technol. 28(8), 50.
- KATZ, E., Y LABUZA, T. 1981. Effect of water activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products. J. Food Sci. Vol. 46. N°2. 1235-1241 pp.
- KENNET, J.; ROTSTEIN, E. AND SING, P. 1997. Handbook of Food Engineering Practice. CRC Press, New York.
- KILCAST, D. & SUBRAMANIAM, P. (Eds.). 2000. The stability and shelf-life of food (pp. 1-22). CRC press. England.
- KOCHERLA, P., APARNA, K., AND LAKSHMI, D. N. 2012. Development and evaluation of RTE (ready to eat) extruded snack using egg albumin powder and cheese powder. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14(4), 179–187.
- KRISTOTT, J. 2000. Fats and oils. In The Stability and Shelf-life of Food (D. Kilcast and P. Subramaniam, eds.) Woodhead Publishing Limited, Cambridge, U.K

- LABUZA, T.P. 1979. A theoretical comparison of losses in foods under fluctuating temperature sequences. *J. Food Sci.* 44. 11622 – 1168.
- LABUZA, T.P. 1982. *Shelf Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press Inc. Westport. Connecticut. USA.
- LABUZA, T. P. 1999. *Determination of the Shelf Life of Foods*. Department of Food Science and Nutrition. University of Minnesota. St. Paul, MN, 55108.
- LABUZA, T.P. 2000. *Reaction Order Determination and reaction Kinetics*. Topic 2. EnFScN 8334. University of Minnesota. St. Paul. Mn. 55108. Estados Unidos.
- LABUZA, T.P., MIZRAHI, S, AND KAREL, M. 1972. Mathematical models for the optimization of flexible film packaging of foods for storage. *Trns. ASAE* 15, 150.
- LABUZA, T. and RIBOH, D. 1982. *Theory and Application of Arrhenius Kinetics to prediction of Nutrient Losses in Foods*. *Food Technology*. Vol 20, Octubre, p: 66.74.
- LABUZA, T. and SCHMIDL, M. 1985. *Acelerated Shelf Life Testing of Foods*. *Food Technology*. Vol 39(9) 57 – 64 p.
- LABUZA, T. and TAOUKIS, P. 1990. *The relationship between processing and shelf life*. Cap 6. En: Bircj, G y Campbell, G (Ed.). *Foods for the 90's*. Elsevier Applied Science Publishers. Londres, UK. P. 73 – 105.
- LAU, M. 1992. *Determinación de vida en anaquel mediante pruebas aceleradas en margarina vegetal*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- LAZO, L. 2006. *Elaboración de harina de papa (*Disidicus gigas*) precocida para consumo humano*. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. UNALM. Lima. 150 p.
- LAZOU, A., AND KROKIDA, M. 2011. Thermal characterization of corn lentil extruded snacks. *Food Chemistry*, 127, 1625e1633.
- LEE, Y.; KIRK, J.; BEDFORD, C. and HELDMAN, D. 1977. Kinetics and computer simulation of ascorbic acid stability of tomato juice as functions of temperature, pH and Metal Catalyst. *J Food Sci.* 42:640.
- MAN, C. M. D. y JONES, A. A. 1997. *Shelf life evaluation of foods*. Blackie Academic and Professional. Londres, 321 p.
- MAN, C. Y JONES, A. 2000. *Shelf life Evaluation of Foods*. Blackie Academic and Professional. Londres

- MAN, D. 2004. La Caducidad de los alimentos. Editorial Acribia. España.
- MADRID, A. MADRID, J. MADRID, R. (1994). Tecnología del pescado y Productos Derivados. Editorial Acribia S. A. Zaragoza. España. 376 p.
- MATZ, S. 1976. Snacks food technology. The Avi Publishing Company. USA.MERCIER.
- LINKO, P. y HARPER, J.M. 1998. Extrusion cooking. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, E.E.U.U.
- MILLER, R. C. 1990. Manual de Extrusión. Asociación Americana de Soya. New York – USA.
- MINSA. 2002. Tablas de composición de alimentos industrializados. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición – Ministerio de Salud. Lima, Perú.
- MIZRAHI, S. y KAREL, M.1977a. Accelerated stability test of moisture-sensitive products in permeable packages at high rates of moisture gain and elevated temperatures. Journal of Food Science vol. (42) pp 1575.
- MIZRAHI, S. y KAREL, M.1977b. Accelerated stability test of moisture-sensitive products in permeable packages by programing rate of moisture content increase. Journal of FoodScience vol. (42) pp 958. Estados Unidos de Norteamérica.
- MONTES VILLANUEVA, N.D. and TRINDADE, M.A. 2010. Estimating sensory shelf life of chocolate and carrot cupcakes using acceptance tests. J. Sensory Studies 25, 260–279.
- MOYANO, L. 2002. Sustitución parcial de harina de trigo por harina de habas (Vicia Faba L.) en la elaboración de galletas dulces y evaluación durante su almacenamiento. Tesis – UNALM. Peru.
- MOUNT III, E. 2003. Cómo sacarles mejor provecho a sus películas metalizadas. Revista Conversion. Vol. 12, Ed 2:16-20.
- MUÑOZ, A.M., CIVILLE, G.V. and CARR, B.T. 1992. Sensory Evaluation in Quality Control, Chap. 3, pp. 81–82, New York, NY.
- NTP (Normas Técnicas Peruanas). 1998. NTP ISO 4593:1998. Plásticos, películas y laminados, determinación del espesor por examen mecánico. INDECOPI
- NORAJIT, K., GU, B., ADN RYU, G. 2011). Effects of the addition of hemp powder on the physicochemical properties and energy bar qualities of extruded rice. Food Chemistry, 129, 1919-1925.

- PFEIFFER, C., D'AUJOURD'HUI, M., WALTER, J., NUESSELI, J., & ESCHER, F. 1999. Optimizing food packaging and shelf life. *Food technology*. Vol. 53, No.6
- RAMOS, V. C. 1991. Caracterización y selección de papas cultivables en el Perú, para la elaboración de hojuelas (chips) y tiras (French fries/potatoes) fritos. Tesis (Ingeniero Industrias Alimentarias). Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- REID, D. 2007. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Relationships*. IFT Press. USA.
- REID, D. S.; KOTTE, K.; KILMARTIN, P. y YOUNG, M. 2003. 2003. A new method for accelerated shelf – life prediction for frozen foods. *Journal of Science of food and Agriculture* 83: 1018 – 1021.
- RISBO, J. 2003a. The dynamics of moisture migration in packaged multi-component food systems I: shelf life predictions for a cereal–raisin system. *J. Food Engineering*. 58:239–246.
- ROLDAN, D. 2002. Elaboración de harina pre-cocida de Pez Falso Volador (*Prionotusstephanophys*) y su evaluación como fuente de proteína animal para consumo humano directo. Tesis. Escuela de Post grado. UNALM, Lima. 89 p.
- ROBERTSON. 1993. *Food of Packaging: Principles and practice*. Marcel Decker New York. 721 p
- SACHAROW, S. y GRIFFI, R.C. 1970. *Food packaging*, AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZUI, S.S. 2003. *Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Edit. Limusa. México.
- SHAVIKLO, G. R., THORKESSON, G., RAFIPOUR, F., AND SIGURGISLADOTTIR, S. (2011). Quality and storage stability of extruded puffed corn-fish snacks during 6-month storage at ambient temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(5), 886–893.
- SHEWFELT, R. 1986. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. *Food Technology*. 40(5):70 – 78 p.
- SINGH, R.; KIRK, J. and HELDMAN, D. 1976. Kinetics of quality degradation: Ascorbic acid oxidation in infant formula. *Journal Food Science*. 41. 304.
- STEELE, R. 2004. *Understanding and measuring the shelf life of food*. Editorial CRC Press, Boca Raton.

- SUMATHI, A., USHAKUMARI, S., & MALLESHI, N. 2007. Physico-chemical characteristics, nutritional quality and shelf-life of pearl millet based extrusion cooked supplementary foods. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(5), 350–362.
- SUZUKI, T. 1987. *Tecnología de las Proteínas de Pescado y Krill*. Ed Acribia. Zaragoza. España. Pp. 139 – 145.
- TAOUKIS, P.S. AND LABUZA, T.P. 1996. Summary: Integrative Concepts. In: *Food Chemistry*. Ch. 17. Ed. O. Fennema. Marcel Dekker. New York. Estados Unidos.
- TAOUKIS, P.S., LABUZA, T.P. and SAGUY, I. 1997. Kinetics of Food Deterioration and Shelf-Life prediction. In: “*The Handbook of Food Engineering Practice*”. K. J. Valentas, E. Rotstein, R.P. Singh. (eds). Ch. 9, CRC Press. New York.
- TAOUKIS, P., LABUZA, T.P., SAGUY, I., IN: VALENTAS, K. J., ROTSTEIN, E., SINGH, R. P., (Eds.). 1997. *The Handbook of Food Engineering Practice*, CRC Press New York, USA. pp. 363–405.
- TAOUKIS, S.; LABUZA, P. and SAGUY, S. 2000. Kinetics of food deterioration and shelf – life prediction. Editorial CRC Press, Boca Raton.
- TIMMERMANN, O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, A. 2001. Water sorption isotherms of food and foodstuffs: BET or GAB parameter? *Journal of Food Engineering*, 48 (1), 19-31.
- TIWARI, U., GUNASEKARAN, M., JAGANMOHAN, R., ALAGUSUNDARAM, K. and TIWARI, B. 2009. Quality characteristic and shelf life studies of deep-fried snack prepared from rice broken and legumes by-product. *Food Bioprocess Technol.* 4, 1172–1178.
- TOLEDO R. 1991. *Fundamentals of Food Process Engineering*. 2^o editions. Van Nostrand Reinhold. U.S.A
- VALENTAS, K.; ROTSTEIN, E. y SINGH, P. 1997. *Handbook of Food Engineering Practice*. Editorial CRC Press. Ney York. 718 p.
- VAN DEN BERG, C. 1981. Vapor sorption equilibria and other water-starch interactions; a physico-chemical approach. Doctoral Thesis. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University.
- VICKERS, Z. Y BOUME, M. C. 1976 a. Crispness in Food- A Review. *J FoodSci.* Vol 41. 1153-1157 pp.

- VILLOTA, R. SAGUY, I. and KAREL, M. 1980. Storage stability of dehydrated food: Evaluation of the literature. *J. Food Qual.* 3, 123.
- WALETZKO, P. Y LABUZA, T.P. 1976. Accelerated shelf-life testing of an intermediate moisture food in air and in an oxygen-free atmosphere. *Journal of Food Science* vol. (41) pp 1338-1344. USA.
- WANI, S. A., AND KUMAR, P. 2015a. Development and parameter optimization of health promising extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food Bioscience*, 14, 34-40.
- WANI, S. A., SOLANKE, N., AND KUMAR, P. 2015b. Extruded product based on oat and fenugreek and their storage stability. *Current Nutrition and Food Science*, 11, 78-84.
- WANI, S. A., AND KUMAR, P. 2016. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *Food Science and Technology*, 74, (2016) 448-455.
- WARNER, K. 1995. Flavors and sensory evaluation in Bailey's Industrial Oil and Fat Products – volume I Edible Oil & Fat Products: General Applications, Ed. Y H Hui, New York.
- WITTIG, E. 1981. Evaluación sensorial, una metódica que mide calidad. II. Evaluación de calidad mediante el test de valoración con escala de Karlsruhe. *Alimentos* 6(1); 25 – 31.
- ZAINOL, M.; ABD-HAMID, A.; YUSOF, S. & MUSE, R. 2003. Antioxidative activity and total phenolic compounds of leaf, root and petiole of four accessions of *Centella asiatica* (L.) Urban. *Food Chemistry* (81), pag: 575 – 581.
- ZUMBADO, H. 2002. Análisis Químicos de los Alimentos. Métodos Clásicos. Editado en la Universidad de la Habana – Cuba.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Cartilla de evaluación sensorial de karlsruhe para snack extruido a base de maíz enriquecido con concentrado proteico de papa

	EXCELENTE 9	MUY BUENO 8	BUENO 7	SATISFACTORIA 6	REGULAR 5	SUFICIENTE 4	DEFECTUOSA 3	MALA 2	MUY MALA 1
COLOR	Crema, natural, excepcional, uniforme, homogéneo.	Natural, uniforme, levemente oscuro.	Natural, algo pálido u oscuro, aún uniforme y homogéneo.	Ligeramente alterado por ej. Algo claro o algo oscuro, algo desuniforme, poco homogéneo.	Alterado, algo descompensado, muy claro; muy oscuro. Desuniforme no homogéneo.	Muy descompensado. Presencia de manchas.	Demasiado pálida, o con apariencia cruda o quemado. Color atípico	Color totalmente atípico.	Inaceptable, totalmente alterada, atípica.
APARIENCIA/ FORMA	Completamente bien conservada, redonda, bien cocida, sin arrugas.	Muy bien conservada, algunas unidades ligeramente modificada, aun redondas, sin arrugas y lisa.	Aun redonda, con algo de arrugas.	Poco lisa, ligeramente modificada, Forma algo modificada, ovalada no redonda, con arrugas.	Presencia de grietas visibles, forma modificada, aplastada, asimétrica, muy abultado o arrugada.	Hundida, agrietada, forma muy modificada. Muchas grietas.	Desagradable, intensamente hundida, y/o asimétrica, con aberturas.	Muy alterada, apretada, rota, con deformaciones.	Completamente alterada
OLOR	Muy característico a muy típico, natural, intenso, equilibrado. Característico, típico. Muy fresco. Sin olor a papa.	Característico, típico y natural. Fresco. Sin olor a papa.	Leve olor a papa, poco intenso.	Algo plano, no característico, más intenso a papa.	Plano, alterado, algo intenso a papa, leve a materia grasa.	Alterado, algo intenso a papa algo, intenso a materia grasa, aun aceptable.	Claramente alterado, atípico, algo ácido.	Alterado, rancio, fuerte olor a papa .	Francamente deteriorado
SABOR	Específico, muy característico y natural. Muy fresco. Muy equilibrado. Sin sabor a papa.	Característico, típico y natural, con sabor tostado. Fresco. Sin sabor a papa.	Característico, aún equilibrado. Ligeramente sabor a papa. Aún típico y natural.	Aún aceptable. No tan típico. Con sabor ligeramente a papa.	Aún aceptable. Con algo a sabor a materia grasa.	No típico, Insípido, claramente dañado con sabor a papa.	Alterado. Completamente atípico. Amargo, ácido, crudo.	Alterado, desagradable. Rancio, muy amargo.	Extraño, desagradable, fermentado. Francamente
TEXTURA	Característica, ni corteza dura ni blanda y delgada, crocante. Muy típica y característica.	Buena, típica, corteza aun ni blanda ni dura, menos crocante. Típica característica.	Normal, típica, corteza levemente blanda o dura y algo gruesa. Menos típica menos característica.	Ligeramente alterada. Corteza algo blanda o algo dura y gruesa.	Alterada, con desuniformidad, corteza dura, algo de sequedad, textura seca.	Claramente alterada. Desuniforme: corteza dura, con sequedad.	Claramente alterada, corteza muy dura, excesivamente dura o muy seca..	Desagradable, modificada, excesivamente dura.	Completamente alterada, inaceptable.

ANEXO 2: Resultados de la evaluación sensorial realizada al snack extruido a base de maíz enriquecido con concentrado proteico de pota de los tres empaques (valores promedios de los jueces)

		TEMPERATURA 35 °C							TEMPERATURA 45 °C							TEMPERATURA 55 °C						
Días		0	7	14	21	35	49	63	0	7	14	21	35	49	63	0	7	14	21	35	49	63
COLOR	Empaque #1	8.8	8.6	8.4	8.1	8.0	7.6	7.5	8.8	8.6	8.3	7.9	7.6	7.3	7.0	8.8	8.5	8.1	7.8	7.6	7.1	6.8
	Empaque #2	8.8	8.6	8.5	7.6	5.6	5.5	5.5	8.8	8.5	8.1	7.4	5.4	4.8	4.4	8.8	8.4	7.9	7.1	5.1	4.6	4.0
	Empaque #3	8.8	8.6	8.3	7.5	3.5	3.1	2.8	8.8	8.5	8.1	6.8	2.9	3.0	2.8	8.8	8.4	8.1	6.5	2.8	2.8	2.6
APARIENCIA	Empaque #1	8.5	8.5	8.4	7.8	8.0	7.1	6.6	8.5	8.4	8.3	7.6	7.5	7.1	6.1	8.5	8.1	7.8	7.3	7.1	6.6	5.6
	Empaque #2	8.5	8.5	8.4	8.0	6.0	3.5	3.6	8.5	8.5	8.1	7.8	5.6	3.4	2.9	8.5	8.4	8.0	7.1	5.5	3.3	2.4
	Empaque #3	8.5	8.3	7.9	7.0	3.4	2.8	2.6	8.5	8.1	7.8	6.9	2.9	2.5	2.4	8.5	8.0	7.5	6.5	2.6	2.4	2.4
OLOR	Empaque #1	9.0	8.4	8.9	7.9	8.1	7.5	7.5	9.0	8.3	8.1	7.8	7.4	7.4	7.3	9.0	8.1	7.8	7.5	7.1	7.0	6.8
	Empaque #2	9.0	8.5	7.6	7.8	5.9	5.1	4.6	9.0	8.4	7.6	7.3	5.6	4.9	4.3	9.0	8.3	7.5	7.0	5.4	4.4	3.8
	Empaque #3	9.0	8.6	7.4	7.1	3.4	4.6	2.6	9.0	8.1	7.4	6.5	2.8	2.9	2.5	9.0	7.9	7.1	6.3	2.6	2.6	2.4
SABOR	Empaque #1	8.3	8.1	8.0	7.6	7.4	7.4	7.3	8.3	8.0	7.8	7.4	7.1	7.0	6.5	8.3	7.9	7.6	7.3	7.0	6.8	6.1
	Empaque #2	8.3	8.3	7.4	7.3	6.0	4.3	3.5	8.3	8.1	7.4	7.1	5.5	3.9	2.3	8.3	8.0	7.1	6.9	5.3	3.6	2.0
	Empaque #3	8.3	7.5	7.0	7.0	3.5	2.9	2.4	8.3	7.5	6.9	6.6	3.1	2.8	2.1	8.3	7.4	6.6	6.0	2.9	2.5	2.0
TEXTURA	Empaque #1	9.0	8.8	8.5	7.9	7.8	6.8	6.5	9.0	8.3	8.0	7.8	7.3	6.6	6.1	9.0	8.0	7.9	7.5	6.9	6.1	5.6
	Empaque #2	9.0	8.8	7.9	8.3	6.3	4.3	3.3	9.0	8.8	7.8	7.4	6.3	4.0	2.3	9.0	8.6	7.5	6.8	5.9	3.8	1.9
	Empaque #3	9.0	8.1	6.5	6.6	3.6	2.8	2.0	9.0	7.6	6.4	5.9	2.8	2.5	1.8	9.0	7.4	6.3	5.6	2.8	2.4	1.6

ANEXO 3: Metodología de medición para transmisión de vapor de agua (Método gravimétrico, según ISO 2528:1995)

Materiales

Los recipientes usados están compuestos de 2 partes:

Placa: La placa está hecha por un material impermeable al vapor de agua, comúnmente metálicas, aunque también puede usarse placas de vidrio. Cada placa consiste en una base cerrada (inferior) y una base abierta (superior). La placa cuenta con un reborde usado para colocar el film a evaluar.

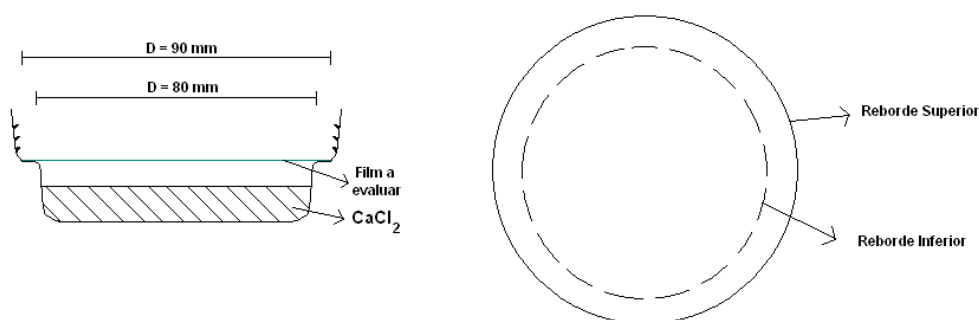


Figura 20. Vista Frontal y Superior de Placas usadas en el ensayo

Plantilla: Se cuenta con una plantilla metálica en forma de anillo. El reborde externo está diseñado para encajar perfectamente sobre la parte interior de la Placa. La Plantilla cumple la función de aprisionar el *film* evaluado, para evitar que ingrese el vapor de agua por los bordes. Para ello, se colocó entre el Film y la Plantilla, una membrana de caucho de forma anillada.

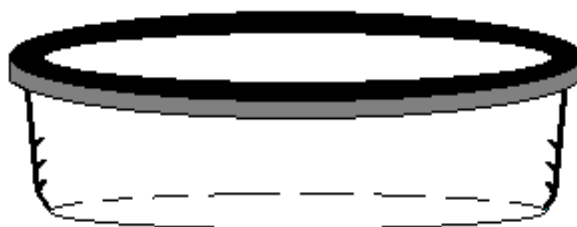


Figura 21. Vista Frontal de Plantilla Metálica usada en el ensayo

Metodología

En las placas, se colocó CaCl₂ anhidrido, distribuyéndolo uniformemente en un espesor de 6 mm. Se colocó como cubierta el film a evaluar, recortado en forma circular de 90 mm de diámetro. Posteriormente se colocó una membrana de caucho, y encima la Plantilla metálica tipo rosca, presionando para evitar la entrada de vapor de agua por los bordes.

Una vez acondicionados los recipientes, se procedió a realizar el pesado, y posteriormente se llevaron a un ambiente controlado de 38 °C y H.R. 80 ± 5 por ciento, durante 24h.

Al concluir este período, se retiró del ambiente, y se colocó en una campana desecadora, dejándolo enfriar por 15 min. El cálculo de la velocidad de transmisión del vapor de agua de los empaques se realizó con la siguiente formula (método gravimétrico ISO, 1995):

$$WVT = \frac{m_f - m_i}{\theta * A}$$

Dónde: WVT es la velocidad de transmisión del vapor de agua, m_f es la masa final, m_i es la masa inicial, θ es el tiempo y A es el área. La permeabilidad del empaque se determinó con la siguiente expresión (método gravimétrico ISO, 1995):

$$PVA = \frac{WVT * \Delta x}{P_o(\%HR_1 - \%HR_2)}$$

Dónde: Δx es el espesor de la película en um, P_o es la presión de vapor del agua pura a la temperatura del ensayo en mmHg, HR₁ y HR₂ son las humedades relativas dentro y fuera del empaque.

ANEXO 4: Análisis de dos vías de los resultados experimentales para el factor de calidad humedad en los tres empaques a las temperaturas de 35, 45, 55 °C

Análisis de dos vías para los tres tipos de empaques a la temperatura 35 °C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad %	21	0.88	0.81	12.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	93.34	8	11.67	11.46	0.0001
Almacenamiento	54.89	6	9.15	8.99	0.0007
Empaque	38.45	2	19.22	18.89	0.0002
Error	12.21	12	1.02		
Total	105.55	20			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.79466

Error: 1.0177 gl: 12

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
Sem. 0	4.89	3	0.58	A
Sem. 1	6.95	3	0.58	B
Sem. 2	7.60	3	0.58	B C
Sem. 3	8.21	3	0.58	B C D
Sem. 4	8.87	3	0.58	C D E
Sem. 5	9.55	3	0.58	D E
Sem. 6	10.04	3	0.58	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.17488

Error: 1.0177 gl: 12

Empaque	Medias	n	E.E.	
Emp. #1	6.12	7	0.38	A
Emp. #2	8.73	7	0.38	B
Emp. #3	9.20	7	0.38	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Análisis de dos vías para los tres tipos de empaques a la temperatura 45 °C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad %	21	0.94	0.90	10.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	180.16	8	22.52	23.45	<0.0001
Almacenamiento	118.85	6	19.81	20.63	<0.0001
Empaque	61.31	2	30.66	31.92	<0.0001
Error	11.52	12	0.96		
Total	191.68	20			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.74338

Error: 0.9604 gl: 12

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
Sem. 0	4.89	3	0.57	A
Sem. 1	8.57	3	0.57	B
Sem. 2	9.12	3	0.57	B
Sem. 3	10.17	3	0.57	B C
Sem. 4	11.05	3	0.57	C D
Sem. 5	11.96	3	0.57	D
Sem. 6	12.48	3	0.57	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.14131

Error: 0.9604 gl: 12

Empaque	Medias	n	E.E.	
Emp. #1	7.34	7	0.37	A
Emp. #2	10.78	7	0.37	B
Emp. #3	11.12	7	0.37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Análisis de dos vías para los tres tipos de empaques a la temperatura 55 °C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad %	21	0.95	0.92	10.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	307.53	8	38.44	27.93	<0.0001
Almacenamiento	214.58	6	35.76	25.98	<0.0001
Empaque	92.95	2	46.48	33.77	<0.0001
Error	16.52	12	1.38		
Total	324.05	20			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.08711

Error: 1.3764 gl: 12

Almacenamiento	Medias	n	E.E.				
Sem. 0	4.89	3	0.68	A			
Sem. 1	10.31	3	0.68		B		
Sem. 2	11.17	3	0.68		B	C	
Sem. 3	12.43	3	0.68			C	D
Sem. 4	13.34	3	0.68				D E
Sem. 5	14.27	3	0.68				D E
Sem. 6	15.32	3	0.68				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.36633

Error: 1.3764 gl: 12

Empaque	Medias	n	E.E.	
Emp. #1	8.70	7	0.44	A
Emp. #2	13.08	7	0.44	B
Emp. #3	13.25	7	0.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)