



FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniería Agroindustrial y de Agronegocios

**Efecto del Empaque en el Contenido de Humedad
Final para dos Tipos de Manzanas Deshidratadas en
Almacenamiento Controlado**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero en Ingeniería
Agroindustrial y de Agronegocios**

CESAR CIPRIANI VILLAR

Asesor:

Oscar Linares Rosas

Lima - Perú

2016

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2

Entregado el: 09/12/2016

Aprobado por:

.....
Graduando: César Cipriani Villar

.....
Asesor de Tesis: Oscar Linares Rosas

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERIA

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, César Cipriani Villar, identificado con DNI 10263292 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial y de Agronegocios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada: Efecto del Empaque en el Contenido de Humedad Final para dos Tipos de Manzanas Deshidratadas en Almacenamiento Controlado.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de mi tesis es de mi autoría, que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 09 de diciembre de 2016

.....
César Cipriani Villar
DNI N° 10263292

EPIGRAFE

“Un ganador es un soñador que nunca se rinde”.

(Nelson Mandela)

INDICE

INTRODUCCION	11 – 34
Problema de Investigación	11
Planteamiento del Problema	11
Formulación del Problema	12
Justificación de la Investigación	12
Marco Referencial	14
Antecedentes	14
Críticas a la literatura existente	17
Marco Teórico	19
Funciones principales del Empaque	27
Entornos relacionados al Empaque	28
“Como determinar la vida de Anaquel desde el producto en sí”	29
Semántica, términos y definiciones	30
Objetivos e Hipótesis	34
Objetivos	34
Hipótesis	34
METODO	34 – 41
Tipo y Diseño de Investigación	35
Tipo de Investigación	35
Diseño de Investigación	35
Variables	36
Muestra	37
Instrumentos de Investigación	38
Fase Experimental	39
Procedimiento	39
Plan de Análisis	41
RESULTADOS	42 – 50
Presentación de Resultados	42
Determinación de Humedad Inicial	42
Peso de los Empaques sometidos a cámara climática	42
Humedad Final	43
Discusión	44
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
REFERENCIAS	51 – 58
Anexos	53

DEDICATORIA

A mis Padres,
Enrique y Enriqueta.
A mis hijos,
César y Andrés.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Luis Fernando Vargas,
por su dirección. Al Mg. Oscar Linares,
por su dedicación. Al Dr. Fausto Cisneros,
por sus enseñanzas. A la Dra Lillyan Loayza y a los
colaboradores del laboratorio de química, por su apoyo en
la fase experimental de esta investigación.

RESUMEN

Se llevaron a cabo dos experimentos durante los meses de Agosto y Setiembre del 2015, para observar el efecto de los materiales de empaque (polipropileno orientado, OPP y polipropileno metalizado, MetPP) con diferentes tasas de transmisión de vapor de agua (WVTR), en el contenido de humedad final en dos tipos de manzanas deshidratadas almacenadas en atmosfera controlada (1^{er} experimento a 35° y 80% HR, por 10 días y 2^{do} experimento a 45° C y 80% HR, por 10 días). Para ello, se determinó la humedad inicial de las muestras de manzanas deshidratadas por el método de determinación gravimétrica de la sustancia seca; luego del almacenamiento en cámara climática se realizaron las mediciones de peso final de las manzanas deshidratadas empacadas.

Se obtuvieron resultados comparables con investigaciones previas llevadas a cabo en otros países, los cuales demuestran que el material de empaque OPP presenta una mayor WVTR en relación al material de empaque MetPP.

Palabras clave:, Empaque Barrera, polipropileno orientado (OPP), polipropileno metalizado (MetPP), Tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR), Permeabilidad.

ABSTRACT

Two experiments were conducted during August and September of 2015 to observe the effect of the packaging materials (oriented polypropylene, OPP and metallized polypropylene, MetPP) with different water vapor transmission rate (WVTR), in the final moisture content of two types of dehydrated apples which were stored under controlled atmosphere (experiment N°1 at 35° and 80% RH, for 10 days and experiment N°2 at 45° C and 80% RH, for 10 days). The initial moisture of the dehydrated apple samples was determined by the gravimetric determination method of the dry substance. After storage measurements of the packed dehydrated apples, were performed.

The results obtained were similar to previous investigations carried out in other countries, which demonstrate that the OPP packaging material has a higher WVTR compared to the MetPP packaging material.

Key words: Barrier packaging, Oriented polypropylene (OPP), Metallized polypropylene (MetPP), Water vapor transmission rate (WVTR), Permeability.

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación.

Planteamiento del Problema.

Las manzanas deshidratadas comercializadas en supermercados de Lima son principalmente envasadas en empaques de polipropileno (PP), los cuales permiten el intercambio de vapor de agua debido a las características de permeabilidad de dicho material de empaque. Esto trae como consecuencia que estos productos deshidratados capturen humedad del ambiente, afectando la calidad de la manzana deshidratada durante su ciclo de vida antes de su consumo.

Técnicamente, los empaques usados hoy en día son inadecuados para estos productos, ya que permiten el intercambio de vapor de agua, por lo que el producto en el interior gana humedad rápidamente. Por otro lado, la producción de manzana deshidratada se realiza en condiciones inadecuadas para la calidad del producto final, lo que genera cambios en las características sensoriales del producto final tales como: disminución en la palatabilidad, crocancia, y color. Se sacrifica la calidad del producto final en beneficio del costo de procesamiento en el secado de la fruta.

En países desarrollados como Estados Unidos de Norte América, se emplean para estos productos envases de polipropileno biorientado (BOPP), trilaminados con nylon tejido, que le dan mayor valor agregado al producto final y permiten ofrecer un producto con ventajas sobre los productos nacionales. Los empaques usados en nuestro país presentan niveles de barrera bajos los cuales son expresados a partir de los indicadores tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) y tasa de transmisión de oxígeno (OTR).

La composición de los empaques usados para productos deshidratados en países como Estados Unidos de Norte América les da una mayor vida de anaquel a los productos, facilitando su distribución a lugares distantes sin que, por ejemplo, se quiebren fácilmente, mediante el uso de empaques de polipropileno metalizado (MetOPP) e inyección de gas, previo al sellado del empaque.

Esta diferencia técnica puede deberse al grado incipiente de la industria en nuestro país, del desarrollo de estos productos en términos generales, y al hecho de que nuestro país no es notable por la producción a escala de manzana deshidratada.

La manzana deshidratada pertenece a un segmento de mercado exclusivo, no es de producción continua. La venta de estos productos se da a nivel de supermercados y, en ferias artesanales (fin de semana en distintos distritos de la capital). En este caso, los fabricantes son empresas pequeñas, con tecnología incipiente en el empaque de estos productos, y con poco conocimiento con respecto a los detalles tecnológicos relativos a la importancia y características de un empaque adecuado. En el mercado actual, se pueden encontrar productos deshidratados producidos en Lima, así como también importados.

Existe la oportunidad de diferenciar la calidad del producto peruano. Esta deberá reflejarse en productos que mantengan su sabor y textura, sean agradables para los consumidores y mantengan la calidad. Actualmente, la manzana deshidratada peruana es ofrecida, principalmente, en empaque de plástico (polipropileno), el cual no preserva adecuadamente la fruta deshidratada. Esto da lugar a dos características desfavorables:

Debido a los microporos en los empaques de material de polipropileno, existe un intercambio de humedad entre la humedad ambiental y la humedad del producto empaquetado, por lo cual la vida útil de las manzanas deshidratadas, disminuye en términos de calidad (olor, aroma, sabor, palatabilidad, color, y crocancia).

Formulación del Problema.

El problema queda formulado de la siguiente manera:

¿Cómo minimizar el intercambio de vapor de agua en manzanas deshidratadas empacadas?

Justificación de la investigación.

Justificación Técnica. El material de empaque utilizado para manzanas deshidratadas (polipropileno, principalmente), permite el ingreso de vapor de agua. Esto origina que la crocancia y la frescura se pierdan en el tiempo, lo cual genera un rechazo en el consumidor. Con el uso de los empaques barrera se mejora la calidad sensorial y se extiende el tiempo de vida del producto en anaquel.

Justificación Económica. Los empaques barrera presentan un mayor costo que los envases de polipropileno usados por la mayoría de marcas para el empaqueo y venta local de productos deshidratados. Las manzanas deshidratadas, al ser un producto exclusivo, y debido al bajo nivel de humedad del producto final, requieren del uso de empaques de material barrera al vapor de agua para su conservación. Al utilizar un material de empaque barrera se obtienen productos con menores niveles de rechazo en el mercado. Esto permitirá que las empresas productoras de manzanas deshidratadas, ofrezcan productos de mejor calidad.

Justificación Social. Al envasar las manzanas deshidratadas en empaques barrera se va a generar un impacto positivo en las ventas. Esto origina una mayor demanda de materia prima, la cual es adquirida a los productores de los valles cercanos a la capital. Con el fin de incrementar el impacto favorable para los productores, se procura comerciar directamente con ellos sin hacer uso de acopiadores o distribuidores.

Justificación Ambiental. El uso de los empaques comunes genera rechazos y retornos a planta de producto no comercializado, con lo que se tienen desechos orgánicos e inorgánicos (plásticos y otros). Esta situación se revierte totalmente con el uso de empaques barrera.

Marco Referencial

Antecedentes.

Gobbi et al. (2011) estudiaron las isotermas de sorción de chips de manzana deshidratados por ósmosis y deshidratadas por aire seco, usando diferentes concentraciones de ácido sulfúrico para mantener un rango de actividad de agua (A_w) entre 0.035 – 0.182. Estas isotermas ayudaron a la determinación de un modelo que busca predecir:

La caída de la calidad y,

La influencia del uso de cada empaque en los cambios en el contenido de humedad del producto durante la vida de anaquel. La investigación se enfocó en las propiedades barrera de cada empaque usando dos empaques distintos, Polipropileno orientado (OPP) y polipropileno metalizado (MetPP). Los empaques fueron conservados a 38° C y una humedad relativa del 90%.

El objetivo de la investigación fue estudiar los mecanismos de sorción del agua en manzanas deshidratadas y su comportamiento durante el almacenamiento, con la finalidad de evaluar la validez del modelo desarrollado.

Saavedra et al. (2013) condujeron un estudio multivariable de vida útil acelerada (MALST) en un bocado tipo cereal de manzanas deshidratadas, almacenadas a 18° C, 25° C y 35° C por 17.5 meses. El producto fue empacado en bolsas metalizadas de alta barrera. La humedad de la cámara fue de 75% \pm 5%. Se llevaron a cabo mediciones de A_w , color, humedad y propiedades sensoriales. Emplearon la técnica del análisis de componentes principales (PCA); los resultados fueron comparados a los obtenidos con el modelo de cinética univariable. La predicción de vida útil para el estudio multivariable fue de 18.3 meses, mientras que en el estudio univariable fue de 15.6 meses.

Lamiani et al. (2010) emplearon fetta biscottata (producto de panadería Italiana típico) como sistema modelo para hacer un pronóstico de vida en anaquel, mediante la evaluación de diferentes cantidades de producto, distintos espacios en la cabeza de los empaques usados y distintos empaques; así como la influencia en el equilibrio de la humedad relativa en la cabeza del empaque y la humedad relativa del producto. El producto se sometió a una prueba de almacenamiento acelerado en célula termostática a 38° C \pm 0.5° C y 98% de humedad relativa, en empaques de OPP de 20mm de espesor. Se pudo concluir que la humedad relativa del espacio de cabeza del empaque no se equilibra inmediatamente con el producto.

Siracusa et al. (2012) estudiaron la permeabilidad y comportamiento térmico de polipropileno comercial en el empaqueo de papas frescas. Para la medición de permeabilidad se empleó oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno y una mezcla de estos tres gases, usados normalmente para el empaqueo en atmósfera modificada. La finalidad fue determinar la posibilidad de extender la vida útil del producto diseñado para el campo del catering al contar con un empaque adecuado. Se analizó la data registrada en intervalos de 4, 8, 12, 15 y 20 días en contacto con el alimento, señalando la dependencia existente entre la temperatura y la tasa de transmisión de los gases (GTR), así como la solubilidad, coeficiente de difusión, y otros parámetros. Se estudió el comportamiento térmico del PP por el método de calorimetría de escaneo diferencial, y por análisis termo gravimétrico (TG).

Laurienzo et al. (2013) investigaron cambios estructurales inducidos en los tejidos de manzanas deshidratadas comparando métodos convencionales como liofilización y secado por aire; en contraposición al uso de manzanas secadas mediante el empaqueo en películas innovadoras basadas en polisacáridos naturales. Para ello se usaron mezclas de Agar (Ag) y Alginato (AA). Los empaques fueron empleados como medio de deshidratación, a partir de la absorción de agua por parte de los mismos empaques. Se empleó el microscopio de escaneo electrónico (ESEM) para la detección de cambios estructurales.

Swain et al. (2013) estudiaron los efectos obtenidos en pimientos deshidratados, almacenados durante 4 meses en distintos materiales de empaque: PP, aluminio laminado (Al), y polietileno de alta densidad (HDPE). Las muestras fueron guardadas en condiciones ambientales y se controlaron los parámetros: índice de enmarronamiento, diferencia de coloración total, Aw, contenido de humedad, carotenoides totales y análisis sensorial, con un intervalo de 15 días. Se determinó que los cambios fueron mínimos, al menos durante los primeros 45 días del estudio, en los cuales se mostró un nivel de significancia de 5%. Sin embargo, el empaque de aluminio fue el menos afectado, seguido por el empaque de polietileno de alta densidad y, por último, el empaque de polipropileno.

Hande et al. (2014) estudiaron los efectos obtenidos en diferentes métodos de secado y diferentes materiales de empaqueo en corteza de kokum (*Garcinia indica*), especie importante oriunda de India y Malasia. Se emplearon sacos de yute, bolsas de nylon y frascos de plástico para envasar estos frutos deshidratados de las siguientes

formas: al aire abierto, solar y por aire caliente. El estudio fue llevado a cabo en un periodo de 9 meses, con intervalos de medición, cada 3 meses, de los siguientes parámetros: acidez, pH, sólidos solubles totales (TSS), azúcares reductores, azúcares no reductores, color, y valor calorífico. Entre los materiales de empaque, se notó que los frascos plásticos fueron los mejores para el almacenamiento en un tiempo mayor a 9 meses, en comparación a los otros tipos de empaque (bolsas de yute y bolsas de nylon).

Bhatia et al. (2013) condujeron un experimento con la finalidad de determinar la influencia de los materiales de empaque en el almacenamiento en refrigeración a $5 \pm 2^\circ \text{C}$ y $85 \pm 5\%$ de humedad relativa, de arilos de granada, mínimamente procesados, por 15 días. Los materiales estudiados fueron: polipropileno, polietileno de baja densidad y bolsas KPA Cryovac. Se estudiaron los siguientes parámetros: atributos de color, pérdida fisiológica de peso, sólidos solubles totales, firmeza de los arilos, tasa de respiración y azúcares totales. Los arilos empacados en bolsas de PP mantuvieron mejores características de calidad, en comparación con las bolsas de polietileno de baja densidad y las bolsas KPA Cryovac.

Tera-Barrier Films (2014), una compañía perteneciente a ASTAR's Instituto de Investigación de Materiales e Ingenieros, ha inventado una lámina plástica usando un nano proceso. Este nuevo plástico presenta una de las tasas más bajas de transmisión de vapor de agua, de $5 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$ a 40°C y $100\% \text{ HR}$, 10 veces mayor que barreras de óxido transparentes. Este film, de 700 nm de espesor, contiene capas de nano partículas encapsuladas, las cuales absorben la humedad y oxígeno del ambiente, atrapando de esta manera a estas moléculas y minimizando el proceso de permeación. Esta lámina permite ver a través de los empaques y contribuye a que una amplia gama de productos, desde electrónicos hasta alimentos perecibles, tengan una mayor vida útil. Una característica atractiva es su elasticidad, lo que simplifica los procesos de empackado. Por otro lado, estos films delgados son producidos a costos más bajos que las láminas de aluminio y proveen mejores propiedades de barrera que las láminas inorgánicas con barrera de óxido. Es una alternativa excelente a la lámina de aluminio.

Manikantan et al. (2011) emplearon la metodología de superficie de respuesta para estudiar los efectos del empleo de nano arcilla en la preparación de empaques basados en polipropileno, con el uso de compatibilizadores (polímero base modificado químicamente), variando las cantidades empleadas, así como el espesor de los empaques. Se evaluaron características como el OTR, WVTR, y resistencia a la tracción

y elongación porcentual del PP. Se utilizaron modelos de regresión para la predicción del OTR y WVTR de los filmes desarrollados. Este estudio ayuda en el diseño de láminas para el empaque de alimentos tomando en consideración los requerimientos para su conservación.

Críticas a la literatura existente.

Gobbi et al. (2011) evaluaron dos tipos de empaques para conservar los chips de manzana: polipropileno orientado (cerca de 10 días de vida en anaquel) y polipropileno metalizado (cerca de 30 días de vida en anaquel). No llegaron a comparar otros materiales de empaque barrera, como la lámina de aluminio u otras láminas plásticas con mayor poder de barrera al vapor de agua.

Saavedra et al. (2013) evaluaron un rango de temperaturas de almacenamiento regular de chips de manzana, entre 18° C a 35° C, y encontraron valores de vida útil prolongados (de 18.3 a 15.3 meses). Esta investigación podría enriquecerse manejando condiciones de almacenamiento más cercanas a lo que se registra en los supermercados, donde hay fluctuaciones entre el día y la noche, y entre meses o estaciones; esto a pesar de que los resultados obtenidos demuestran que el producto analizado es altamente estable.

Lamiani et al. (2010) emplearon distintas cantidades de un producto de panadería (fetta biscottata), a fin de validar modelos de vida útil en productos dependientes de humedad; en los cuales se asume que la humedad del espacio de cabeza de los empaques inmediatamente se equilibra con la humedad del producto. Los resultados de la investigación concluyeron que esto no es cierto. Se empleó empaques de OPP. No se observó el comportamiento de otros materiales de empaque durante este estudio.

Siracusa et al. (2012) estudiaron la permeabilidad y comportamiento térmico de papas frescas mínimamente procesadas empacadas en OPP. Se evidenció que a mayor temperatura de almacenamiento, mayor permeabilidad del empaque estudiado. La investigación no tomó en cuenta el uso de un empaque control del mismo material con alguna variación como, por ejemplo, un espesor distinto. Esto es importante, dado que la permeabilidad esta en relación directa al espesor del empaque, así como de la temperatura de almacenamiento y del material de empaque.

Laurienzo et al. (2013) estudiaron los cambios estructurales inducidos en la textura de manzanas deshidratadas por liofilización y secadas por aire caliente, en comparación a manzanas secadas mediante su almacenamiento en empaques innovadores sobre la base de una mezcla de agar y alginato, polisacáridos naturales. En el estudio no se evaluaron las temperaturas ni el rango de tiempo en el cual se logra la deshidratación de manzanas frescas mediante el almacenamiento en los empaques de Agar y Alginato. Se recomienda realizar pruebas con estos empaques considerando parámetros reales de almacenamiento (temperatura y humedad relativa), para validar su uso en condiciones normales (ambientales).

Swain et al. (2013) llevaron a cabo un estudio comparativo en pimientos deshidratados (rojo y amarillo), usando distintos materiales de empackado en condiciones ambientales. Se sugiere realizar estudios de vida acelerada del producto para determinar la vida útil del pimiento deshidratado en el empaque adecuado. Los pimientos son comercializados internacionalmente en altas cantidades por su diverso uso y gran importancia (en torno a sus propiedades).

Hande et al. (2014) realizaron un estudio en el que evaluaron parámetros de calidad en corteza de kokum deshidratado bajo distintos métodos de secado (al aire abierto, solar y secado por aire caliente). Los materiales empleados para el almacenamiento de este producto no son compatibles para su uso en almacenamiento de manzanas deshidratadas, debido a los niveles altos de porosidad (sacos de yute y de nylon) de estos materiales y, por otra parte, debido a la alta higroscopicidad de la manzana deshidratada.

Bhatia et al. (2013) estudiaron la influencia de tres materiales de empaque (polipropileno, polietileno de baja densidad y bolsas KPA Cryovac) en la calidad de arilos de granada mínimamente procesados. Existe relación con el presente estudio en cuanto a la composición de los empaques utilizados (polímeros), mas no es posible hacer una comparación del producto (arilos de granada fresca) en la parte experimental debido a la actividad metabólica presente en un producto refrigerado no procesado térmicamente.

Tera-Barrier Films (2014) ha inventado un plástico alternativo estirable, con una capacidad de barrera al aire y a la humedad aproximadamente diez veces mayor al valor comparado con láminas transparentes cubiertas con óxido. El empleo de nano partículas encapsuladas en una capa es lo que permite este alto nivel de barrera. Presenta gran

ventaja por sus menores costos y gran poder de barrera. La elasticidad permite mayor adaptabilidad a diversos productos. No se evaluaron parámetros intrínsecos a la tecnología del proceso de empaqueo de alimentos perecibles, como temperatura de uso, o humedad relativa (factores ambientales). El artículo no hace referencia a pruebas en productos alimenticios.

Manikantan et al. (2011) prepararon diferentes empaques basados en PP, emplearon nano compuestos y un compatibilizador (polímero base modificado químicamente) conteniendo anhídrido maléico, con la finalidad de determinar las mezclas de los componentes ideales para determinados requerimientos del envasado de alimentos, usando los modelos de regresión desarrollados.

Se demostró que al añadir un compatibilizador, la dispersión de arcilla mejora las propiedades barrera de los empaques desarrollados. El presente estudio no considero la aplicación de estos empaques en algún producto, tampoco hay datos acerca de los costos de fabricación de esta gama de empaques. Sería de gran importancia realizar investigaciones prácticas a fin de determinar el impacto de estos empaques en los productos.

Marco Teórico.

Robertson (2013), afirma que el adjetivo *plástico* deriva del griego *plastikos*, que significa fácilmente moldeado o deformado. El término fue introducido al idioma inglés en el siglo XIX para describir el comportamiento del recién descubierto nitrato de celulosa, similar al de la arcilla al ser mezclada con solventes.

La estructura del material plástico consiste de la repetición de pequeños bloques, *monómeros*, que forman *polímeros* (derivado del griego *meros* que significa partes y *poli*, que significa varias). Las diferencias en la composición química de los monómeros, en la estructura de las cadenas poliméricas, y en la interrelación de las cadenas, determinan las diferentes propiedades de los diversos materiales poliméricos.

La Enciclopedia Electrónica Columbia (2015) menciona: "El empaqueo, la contención y el embalaje antes de la venta con el propósito principal de facilitar la compra y el uso de un producto". Antes del año 1800 los envases se limitaban casi exclusivamente a cumplir la función de contención para el envío, con niveles mínimos de protección y conservación. Las bolsas de supermercado, por ejemplo, se conocieron en el siglo XVII, sin embargo, no fue hasta el siglo XIX que se desarrolló la maquinaria de fabricación de bolsas. Ese siglo vio el surgimiento de latas de metal (1810), cajas de

configuración (1844), cajas plegables (1879), y la máquina de fabricación de botellas Owens (1899).

A principios del siglo XX, el marketing orientado al empaque comenzó a evolucionar. La marca, la calidad, el almacenamiento, la manipulación y la visualización de puntos de venta se convirtieron en atributos importantes de los productos. Para el final de la Segunda Guerra Mundial, el embalaje se había convertido en un medio importante de publicidad y marketing.

En los últimos años, los defensores del consumidor han argumentado que los paquetes deben contener más información sobre nutrición, los costos unitarios, y contenidos. La Ley de Envasado y Etiquetado de 1966 dio autoridad a la Food and Drug Administration (FDA) para determinar que los paquetes estén etiquetados con precisión; la ley de Etiquetado nutricional de 1990 requirió que los empaques contengan más información nutricional, lo que obligó a las empresas a volver a etiquetar alrededor del 75% de todas las mercancías transportadas por los supermercados. Las preocupaciones ambientales han dado lugar a la aprobación de leyes estatales y locales requiriendo que ciertos tipos de empaques (en particular botellas y latas), puedan ser reciclados. Los fabricantes buscan promover una mayor regulación a través del desarrollo y uso de empaques que generen un menor daño al medio ambiente.

“Packaging”, The Columbia Encyclopedia, 6th ed. 2015. Retrieved December 2015 from Encyclopedia.com: <http://www.encyclopedia.com/doc/1E1-packagin.html>

Clasificación.

Robertson (2013), indica que tanto el propileno, como el etileno, son olefinas (formados a partir de aceite). Hoy en día, el término poli olefina es muy común en la industria plástica y se refiere a la familia de los plásticos basados en etileno y propileno. Las poli olefinas forman una importante clase de termoplásticos e incluyen polietileno de baja, muy baja, linear, media y alta densidad, así como el polipropileno.

POLIPROPILENO (PP).

Los primeros intentos para polimerizar el propileno usando el proceso de alta presión usado en la producción de polietileno de baja densidad (LDPE), sólo dio como resultado líquidos oleosos o sólidos gomosos. Giulio Natta, Italiano quien compartió el premio Nobel de Química con Karl Ziegler en 1963, usó complejos catalizadores como por ejemplo, una mezcla de trietilaluminio y tetracloruro de titanio, para producir PP cristalino. Más adelante, este complejo de catalizadores fue denominado como catalizadores Ziegler-Natta (Z-N).

Natta, al usar esta mezcla de catalizadores, pudo desarrollar en 1954 un catalizador estereoespecífico que controló la posición de cada unidad monomérica al ser incorporada a la cadena en formación, generando un polímero de estructura regular. Hoy día, los procesos típicos toman lugar a 100 atm de presión y 60° C.

La tecnología de proceso Spherizone, una innovación significativa en PP, está basada en un reactor de circulación multizona (MZCR). En comparación con tecnologías tradicionales de varios pasos, el MZCR provee un cambio en la homogeneidad del polímero del producto final, al circular continuamente los gránulos poliméricos mientras crecen, entre dos zonas interrelacionadas en donde se dan diferentes composiciones de gases (Mei et al, 2009). Este proceso puede dar origen a la producción de todos los grados convencionales de PP, así como nuevos y mejores productos que incluyen copolímeros aleatorios altamente modificados. Por otra parte, están siendo introducidos catalizadores de metalloceno en la manufactura de PP.

El polipropileno es un polímero lineal que contiene muy poca o nada de insaturación. Dependiendo del tipo de catalizador y condiciones de polimerización, la estructura molecular del polímero resultante deriva en tres tipos de configuración espacial, de acuerdo con la posición del grupo metilo: isotáctico, sindiotáctico y atáctico.

El polipropileno atáctico (los grupos metilo están distribuidos aleatoriamente). Es un producto de valor comercial bajo. Su principal uso es para adhesivos de fusión en caliente. Los procesos industriales son diseñados con la finalidad de minimizar su producción.

El PP isotáctico (originariamente, se creía que los grupos metilo se encontraban siempre arriba o debajo del plano horizontal) es el de mayor cristalinidad, producido por catalizadores específicos. Es un material muy cristalino que presenta muy buena resistencia química y al calor, y poca transparencia.

El polipropileno sindiotáctico (el grupo metilo se alterna encima y debajo del plano horizontal y en stereoblock, en el cual bloques de grupos metilo se encuentran alternados encima y debajo del plano horizontal).

Las hélices regulares de la forma isotáctica pueden colocarse juntas, mientras que las moléculas atácticas tiene un arreglo más aleatorio.

El polipropileno isotáctico es un material duro y tiene un alto punto de fusión. En polímeros comerciales, mientras sea mayor la cantidad de material isotáctico, la cristalinidad del producto, su tensión y dureza serán mayores, mientras que el resto de características estructurales permanecerán iguales (Carragher, 2010). El PP resistente a impactos es una mezcla de polipropileno isotáctico y el copolímero amorfo etileno-propileno.

El polipropileno tiene una densidad menor (900 kg m^{-3}) y un mayor punto de ablandamiento ($140 - 150^\circ \text{ C}$) que el polietileno, menor WVTR, permeabilidad media a los gases, buena resistencia a grasas y químicos, buena resistencia a la abrasión, estabilidad a alta temperatura, buen brillo y alta claridad. Estos dos últimos factores lo hacen ideal para la impresión inversa.

La temperatura de transición vítrea se encuentra entre 10° C y -20° C . La temperatura de fusión cristalina se encuentra en el rango de 160° C a 178° C . Esto permite que los alimentos contenidos en polipropileno, sean esterilizados por calor o recalentados en hornos microondas.

El PP no orientado es conocido como PP casto (puro). Su uso es limitado en empaçado de alimentos debido a su bajo brillo en temperaturas bajo cero. Generalmente no se recomienda su uso con productos pesados, filudos o densos, a menos que sea laminado para ser más fuerte y para tener mayor resistencia a la perforación.

En años recientes ha habido un alto incremento en el uso de polipropileno orientado (OPP) para el empaçado de alimentos. El polipropileno orientado biaxialmente (BOPP) presenta una claridad mayor. El polipropileno orientado puede ser fabricado por soplado, o en un cuadro tensor.

El OPP no es una barrera contra gases, pero esta deficiencia puede ser superada al ser cubierta con un copolímero de policloruro de vinilideno (PVdC).

El OPP de color blanco opaco es usado ampliamente en sellado en frío, y tiene aplicaciones en empaqueo de snacks, caramelos, helados, etiquetas de bebidas embotelladas, envoltorios de sopa y en otros productos que eran envasados de forma tradicional en empaques de papel (Mount, 2009).

Una tecnología moderna explota la combinación única de propiedades, incluyendo la resistencia a la fusión, de grados de PP para uso en aplicaciones en bandejas de espuma para carnes, pescado, chancho, frutas y queso; donde este material sobrepasa las limitaciones típicas del poliestireno expandido como la liberación de aromas y el agrietamiento (Mei et al, 2009).

POLIETILENO.

El polietileno (PE) fue producido por primera vez por Imperial Chemical Industries (ICI) en 1933, durante un programa de investigación dedicado a estudiar los efectos de presiones extremadamente altas en reacciones en cadena. La patente básica relacionada a la polimerización del etileno fue concedida en 1937. El polietileno fue producido a escala piloto en una planta ese mismo año y, a escala comercial, a inicios del 1939. En los primeros años de su producción fue usado en la industria eléctrica, particularmente como material aislante para cables bajo agua.

Hoy en día, existe una producción creciente de PE a partir de la deshidratación catalítica del etanol producido por la fermentación de materias primas vegetales, principalmente caña de azúcar (Morschbacker, 2009).

La polimerización del etileno puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas y presiones, pero los procesos comerciales más comunes utilizan presiones entre 1000 y 3000 atmósferas, en un rango de temperaturas de 100° C a 350° C; temperaturas más altas degradan el PE.

Tipos de polietileno.

Polietileno de baja densidad (LDPE).

Es el polímero más empleado en el empaqueo de alimentos con película (moldeado por soplado). Es un polímero del etileno, un gas hidrocarbonado disponible en grandes cantidades como subproducto de la refinería de petróleo y otros procesos. Presenta ramificaciones de cadena largas (LCB, por sus siglas en inglés). Esto da como resultado valores de densidad relativamente bajos (910 – 940 kg m⁻³). El peso molecular también tiende a ser bajo. Debido a la longitud de sus cadenas poliméricas, se origina cierto enredo por lo cual no se da una cristalización completa al enfriar.

Su cristalinidad varía entre 55% y 70%. Su punto de suavidad se encuentra justo debajo de los 100° C; por ello, no se puede usar vapor para esterilizarlo en ciertas aplicaciones de empaquetado de alimentos.

El LDPE es fuerte, ligeramente traslúcido, puede ser soplado y extruido para formar una lámina o a través de una boquilla ranurada y un rollo. Este último proceso da una forma más clara. Presenta buena fuerza a la tensión y a la ruptura, tiene resistencia al impacto y resistencia al rompimiento, y mantiene esta resistencia por debajo de 60° C.

Es una excelente barrera al agua y al vapor de agua, pero no es una buena barrera a los gases. Tiene excelente resistencia química, particularmente a los ácidos, alcalinos y soluciones inorgánicas, pero es sensible a los hidrocarburos, hidrocarburos halogenados, aceites y grasas. Estos últimos compuestos son absorbidos por el LDPE, y luego se expande.

Cuando un polímero es sometido a estrés por acción del aire, por debajo de su límite elástico, se puede dar un rompimiento luego de un cierto período de tiempo. Sin embargo, al ser simultáneamente expuesto al estrés y a un medio químico, existe una reducción sustancial en el tiempo en el que ocurre esta falla. Este último tipo de falla es conocido como rompimiento por estrés ambiental (ESC); generalmente, se manifiesta con roturas iniciales en la superficie, o por fragilidad en las fallas (Scheirs, 2000). Dicho estrés puede ser interno (por ejemplo, debido a estrés ocasionado en el moldeado) o externo (como estrés aplicado mecánicamente). El ESC está fuertemente relacionado con la cristalinidad del polímero. A mayor cristalinidad, menor será la resistencia a la que suceda el rompimiento por estrés ambiental.

Existen varios cientos de grados de LDPE disponibles, la mayoría difieren en sus propiedades de una u otra forma; a partir de las siguientes variables:

Variación en el grado de ramificaciones de cadena corta.

Variación en el grado de ramificaciones de cadena larga.

Variación en el promedio de peso molecular.

Variación en la distribución de peso molecular.

Presencia de pequeñas cantidades de residuos comonoméricos.

Presencia de impurezas o residuos de polimerización, algunos de los cuales pueden estar combinados con el polímero.

Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).

La primera producción fue llevada a cabo en 1960. Los intentos de producir polietileno de baja densidad, en la década de 1970, hicieron posible el desarrollo de esta clase de polietileno. Su comercialización se inició en 1977. El término "lineal", hace referencia a la ausencia de ramificaciones de cadena larga.

El LLDPE tiene una estructura molecular parecida a la del polietileno de alta densidad.

Contiene numerosas cadenas cortas laterales.

Este tipo de polietileno es más cristalino y, por ello, de mayor rigidez; pero de menor transparencia que el LDPE. Su punto de fusión es de 10 a 15° C mayor que el del LDPE. Esta alineación le confiere fuerza, mientras que la ramificación, dureza.

El LLDPE combina las principales características del LDPE y del HDPE. Una característica principal, es que la distribución de su peso molecular es menor que en el caso del LDPE. Las ventajas sobre este último son: una mayor resistencia química, mejor desempeño a bajas y altas temperaturas, mayor brillo superficial, mayor fuerza a una densidad conocida, mejores propiedades de sellado en calor y mayor resistencia al agrietamiento por estrés ambiental. Estas propiedades superiores del LLDPE permiten aplicaciones nuevas para PE, como el reemplazo del LDPE y HDPE en algunas áreas. El LLDPE es a menudo mezclado con LDPE.

Polietileno de densidad muy baja (VLDPE).

Denominado algunas veces como polietileno de densidad ultra baja (ULDPE), es una subclase de LLDPE, con una densidad menor a 915 kg m^{-3} . Presenta una cristalinidad menor al 25% (Kissin, 2005). En aplicaciones de stretch film, el VLDPE luce excelente estiramiento, así como buenas propiedades físicas y de adhesión. También puede ser usado como plástico soplado cuando se requiere una combinación de excelentes propiedades ópticas, excepcional resistencia al desgarro, fuerza al impacto y muy buen sellado. El copolímero de VLDPE es usado como una capa fina en láminas puras y presenta excelentes propiedades de pegado a bajas temperaturas.

Puede ser mezclado con otras resinas basadas en PE y PP para mejorar la claridad, sellado y dureza de los materiales y puede ser empleado como sellante en estructuras de láminas multicapa. El VLDPE también ofrece gran flexibilidad a bajas temperaturas y resistencia al agrietamiento por flexión.

EL VLDPE es usado mayormente para el empaqueo de productos frescos, leche, carne y queso, así como para la manufactura de láminas coextruidas multicapas.

Polietileno de alta densidad (HDPE).

Antes de 1950, el único polímero comercial de etileno era el LDPE de ramificaciones grandes.

La técnica para desarrollar un polímero lineal fue descubierta por el Premio Nobel Karl Ziegler, de Alemania, a inicios de la década de 1950. Ziegler preparó HDPE al polimerizar etileno a bajas presiones y temperaturas ambientales usando mezclas de trietilaluminio y tetracloruro de titanio.

J. Paul Hogan y Robert Banks, de la Phillips Petroleum Company, fueron los primeros en producir polímeros estereoespecíficos de olefinas en 1952 usando trióxido de cromo en un catalizador de sílica-aluminio (Carraher, 2010).

El HDPE es un termoplástico lineal no polar que posee una estructura mucho más lineal que el LDPE. Presenta una cristalinidad mayor al 90%, mientras que el LDPE exhibe una cristalinidad menor al 50%. Es más rígido y duro que el LDPE y sus densidades van desde 940 a 975 kg m⁻³. Debido a que presenta una fase cristalina y una amorfa, la densidad medida directamente refleja el porcentaje de cada una. Típicamente, presenta 70% de cristalinidad y tiene una densidad de 960 a 965 kg m⁻³.

La resistencia química del HDPE es también mayor a la del LDPE y, de forma particular, tiene mejor resistencia a aceites y grasas. Ofrece excelente protección a la humedad, y una mucho menor permeabilidad a gases, comparado con el LDPE, pero es mucho más opaco. El sellado en caliente es considerablemente más difícil, en comparación con LDPE.

Polietileno Irradiado.

Es producido al pasar el LDPE por un acelerador de haz electrónico que produce rayos β de alta energía. Esto lo convierte en un polietileno de fuerza excepcional, en relación a la resistencia al estiramiento y tensión al encogimiento. Este proceso también ofrece una reducción en la cristalinidad, reduce las tasas de transmisión de gas y vapor de agua, pero incrementa el rango de sellado en caliente. Presenta buena claridad. Se sella al soldar las solapas juntas en un plato caliente y se reduce al pasar a través de un túnel de aire caliente a 220° C.

Funciones principales del Empaque.

Existen cuatro funciones primarias identificadas, de acuerdo a Robertson (2013):

Contener.

Esta función, hoy en día no es abordada satisfactoriamente, debido a la incidencia de mermas en alimentos empacados, especialmente cerca de los cierres y sellos.

Proteger.

Es la principal función del empaque: Proteger el contenido del entorno ambiental externo (agua, vapor de agua, gases, olores, microorganismos, polvo, golpes, vibraciones y fuerzas de compresión).

El empaque también conserva gran parte de la energía empleada en la producción y procesamiento del producto. Al evitar el deterioro del producto empaquetado, se preserva la energía empleada para la producción del mismo, empleando una energía mucho menor en la fabricación del empaque.

Uso conveniente.

“Las sociedades modernas industrializadas han traído grandes cambios en los estilos de vida y la industria de empaque ha tenido que responder a ellos”. Existe la tendencia a consumir “snacks”, y la demanda por una amplia variedad de alimentos y bebidas en eventos fuera del hogar (deportes, comida al paso). Estos productos incluyen aquellos de fácil cocción, para calentar rápidamente, salsas y condimentos que puedan ser aplicados mediante aerosoles o accionados por mecanismos que minimicen las mermas. Por ello, el empaque juega un rol importante en atender la demanda de los consumidores. Los empaques convenientes promueven las ventas. Existen otros dos aspectos de conveniencia importantes en el diseño de empaques: (a) la función de porcionamiento del empaque, para reducir los volúmenes a tamaños deseables para el consumidor y (b) el empaque debe ser resellable y tener la capacidad de retener la calidad del producto hasta su uso final.

Un aspecto asociado, es la forma del empaque primario en relación a la conveniencia del consumidor, y eficiencia en convertirlo en secundario y terciario. Al transportar bienes empaquetados, en comercio entre ciudades e internacionalmente, es clara la ineficiencia en mover cada empaque primario individualmente. El empaque juega un rol importante al permitir unir empaques primarios dentro de empaques secundarios, empaques terciarios (pallets), y a su vez, cuaternarios (contenedores). Si las dimensiones de los empaques primarios y secundarios son óptimas, se usará el máximo espacio en el pallet. Consecuentemente, los materiales de embalaje serán optimizados.

Comunicar.

“Un empaque debe proteger lo que vende y vender lo que protege”.

Un empaque funciona como un silencioso vendedor (Judd et al, 1989). La habilidad del consumidor de reconocer inmediatamente los productos a través de formas diferentes, marcas y el etiquetado, permite a los supermercados funcionar sobre la base del autoabastecimiento. Sin esta función de comunicación, el comprar en un supermercado sería una pesadilla frustrante y larga, pues los consumidores tendrían que tomar sus decisiones de compra sin la numerosa cantidad de pistas visuales dadas por los gráficos y las formas distintas de los empaques.

Los empaques tienen también otras funciones de comunicación, que son igualmente importantes. Por un lado, está el amplio uso de equipos modernos de escaneo en tiendas que permite leer de manera rápida y precisa el código de producto universal (UPC), que aparece en los empaques. Asimismo, la información nutricional en la parte externa de los empaques se ha vuelto obligatoria en varios países. Finalmente, hoy en día hay etiquetas inteligentes que pueden ser leídas por cámaras de celulares, que también aparecen en los empaques.

De no ser por el uso de etiquetas en los empaques secundarios y terciarios, los almacenes y centros de distribución se volverían caóticos. De hecho, algunas veces esto sucede (cuando no tienen etiquetas o por falta de información). En comercio internacional, el uso de símbolos de fácil comprensión en el paquete, es imperativo. También se utilizan los UPC, así como RFID (identificación por radiofrecuencia). Este último a través de etiquetas en los empaques secundarios y terciarios, están revolucionando la cadena de abastecimiento.

Entornos relacionados al Empaque.

De acuerdo a Lockhart (1997), existen tres entornos distintos en los cuales los empaques deben desenvolverse. El no considerar estos tres entornos en el desarrollo del empaque, dará como resultado empaques de diseño pobre, altos costos, quejas de los consumidores e incluso rechazo de los productos.

Entorno Físico.

Puede haber daño físico al producto. Esto incluye golpes, caídas, fallas, daño por vibraciones dadas en el transporte, que puede ser: por carretera, tren, mar o aire; por la compresión y daño por aplastamiento ocasionado por el apilamiento durante el transporte o almacenamiento en almacenes, tiendas y en el hogar.

Entorno Ambiental.

Se refiere al ambiente que rodea al empaque. Los daños al producto pueden resultar por gases, agua, vapor de agua, luz y temperatura, como también por microorganismos (bacterias, hongos, mohos levaduras y virus), macro-organismos (roedores, insectos, ácaros y pájaros) que son ubicuos en varios almacenes y tiendas. Los contaminantes en el entorno ambiental, como gases de combustión de automóviles y polvo y tierra, también pueden ingresar a los productos a menos que el empaque actúe como una barrera efectiva.

Entorno Humano.

En este entorno el empaque interactúa con la gente. El diseñar empaques para este entorno requiere conocimiento de la variabilidad de las capacidades de los consumidores incluyendo la vista, fuerza, debilidad, destreza, memoria y conocimiento. Incluye conocimiento de los resultados de la actividad humana como la responsabilidad, legislación y regulación. Ya que una de las funciones del empaque es la de comunicar, es importante que el mensaje sea recibido de manera clara por los consumidores. Adicionalmente, el empaque debe contener información requerida por ley como el contenido nutricional y peso neto. Robertson (2013).

“Como determinar la vida de anaquel, desde el producto en sí”.

Según Robertson (2013), la vida de anaquel de un alimento está controlada por tres factores:

- Las características del producto, incluyendo la formulación y los parámetros de procesamiento (factores intrínsecos).

- Las propiedades del empaque.

- Los entornos en los cuales el producto es expuesto durante su distribución y almacenamiento (factores extrínsecos).

Factores Intrínsecos: PH, Aw, enzimas, microorganismos y concentración de compuestos reactivos. Varios de estos factores pueden ser controlados por selección de materias primas e ingredientes, como las alternativas en los parámetros del procesamiento.

Factores Extrínsecos: Temperatura, HR, luz, presión total y parcial de diferentes gases, al igual que el estrés mecánico incluyendo el manipuleo por parte del consumidor. Varios de estos factores pueden afectar las tasas de reacciones de deterioro que ocurren durante la vida útil de un producto.

Las propiedades del empaque pueden tener un efecto significativo en varios factores extrínsecos y por ello, indirectamente en las tasas de reacciones de deterioro. La vida útil de un alimento puede ser alterada al cambiar su composición y formulación, los parámetros de su procesamiento, el sistema de empaque o el entorno al cual es expuesto.

Semántica, términos y definiciones.

Deshidratación.

Según Toledo (1985), la deshidratación es un método importante de preservación de alimentos. El peso y volumen de productos deshidratados es menor y son más estables en cuanto a su vida útil, al estar secos. Por ello, los costos de su almacenaje y distribución también se reducen. El contar con técnicas que produzcan alimentos deshidratados de calidad permite desarrollar alimentos adecuados y producir más productos deshidratados a escala comercial.

Empacado.

Robertson (2013), el empackado ha sido definido como una disciplina socio-científica, que opera en la sociedad y por la cual se asegura la distribución de los bienes hasta llegar al consumidor final en las mejores condiciones para su uso (Lockhart, 1997).

Niveles de Empacado. Robertson (2013)

Empaque primario: Aquel que está en contacto directo con el producto envasado. Provee la barrera inicial y usualmente la principal de protección. Ejemplos: latas de metal, botellas de vidrio, cajas de cartón y bolsas plásticas.

Empaque secundario: Por ejemplo, una caja de cartón corrugado, contiene un número de empaques primarios. Cumple la función de distribuir físicamente los empaques primarios en tiendas.

Empaque terciario: Esta hecho a partir de varios empaques secundarios. Ejemplo: un pallet forrado con stretch film conteniendo cajas de cartón corrugado.

Empaque cuaternario: En comercio nacional e internacional, se usa frecuentemente este nivel de empackado, para facilitar el manipuleo de empaques terciarios. Ejemplo: Contenedor metálico de hasta 40 metros de largo. Puede ser transferido de un barco a otro, en trenes y camiones por grúas gigantes.

Transferencia de Masa a través del material del Empaque.

La transferencia de masa en el envasado de productos deshidratados se refiere a las características aislantes del material usado para envasar.

El envase debe proporcionar una barrera a la humedad, con la finalidad de mantener el producto fresco y crujiente. El material de empaque debe ofrecer una buena barrera para el oxígeno, para reducir la oxidación de los constituyentes del producto deshidratado. El aroma y sabor del producto pueden mantenerse mediante el uso de un material que ofrezca una barrera adecuada para preservar estas características intrínsecas del producto deshidratado. Por ello, la elección adecuada del material de empaque es beneficiosa para mantener la vida útil del producto deshidratado.

La transferencia de masa a través del material de empaque (material polimérico) es un proceso a describir en etapas:

Las moléculas de gas en forma de líquido o vapor se disuelven en el material polimérico en la cara de la película expuesta a la mayor concentración.

Las moléculas de gas o vapor se difunden a través del material polimérico moviéndose hacia la cara de la película expuesta a las menores concentraciones. Este movimiento molecular depende de los espacios en el material polimérico, los cuales se forman al deslizarse unos sobre otros, en largos segmentos de cadena de polímero debido a la agitación térmica.

Esta última etapa incluye la desorción del gas o de las moléculas de vapor y la evaporación de la superficie de la película. (Singh y Heldman, 1993).

Flujo de Humedad.

Toledo (1985), en deshidratación, se define flujo de humedad, como el movimiento que es proporcional a la fuerza impulsora resultante de la diferencia en presión de vapor en la superficie y la presión de vapor del agua en el aire que rodea la superficie.

Ley de Fick.

La ley de difusión de Fick describe el proceso de transferencia de masa, por difusión (a escala molecular). (Singh y Heldman, 1993)

Bajo condiciones estables, un gas o vapor se difundirá a través de un polímero a una velocidad constante si se mantiene un diferencial de presión constante a través del polímero. Robertson (2013).

$$J = -D \frac{\delta c}{\delta x}$$

Donde:

J es el flujo (o tasa de transporte) por área unitaria del gas permeante a través del polímero.

c es la concentración del permeante.

D está definido como el coeficiente de difusión.

$\frac{\partial c}{\partial x}$ es la gradiente de concentración del permeante a través de un espesor δx

D refleja la velocidad en la cual el permeante se difunde a través del polímero, en función de la temperatura y quizás en función de la concentración.

WVTR.

Water vapor transmission rate, por sus siglas en inglés, se refiere a la tasa de transmisión de vapor de agua.

La tasa de transmisión del material es:

$$TR = \frac{Q}{A_t}$$

Donde:

Q es la cantidad de permeante que atraviesa el polímero

A es el área

t es el tiempo

WVTR, se expresan en: $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ($\text{gr/m}^2/\text{día}$)

Los proveedores de empaques plásticos dan este parámetro de medición de vapor de agua para sus productos, generalmente a 38° C y 90% HR. Esto es relevante para productos vendidos en condiciones tropicales, mas no de ayuda en productos comercializados en condiciones templadas (25° C y 75% HR). La presión de vapor es 2.5 veces mayor a 38° C y 90%HR; que en 25° C y 75%HR. Por lo tanto, los cálculos de vida útil basados en un WVTR a una temperatura y humedad mayor subestimarán la vida útil actual bajo condiciones templadas por 2.5 veces aproximadamente. Robertson (2013)

Permeabilidad.

Las propiedades aislantes del empaque pueden ser expresadas en términos de permeabilidad. La permeabilidad del material de empaque proporciona una medida de la posibilidad de que ciertos gases o vapores lo atraviesen.

Cuantitativamente, se expresa como la masa de gas o vapor transferido por unidad de tiempo, área y "fuerza impulsora". (Singh y Heldman, 1993).

La permeabilidad es el proceso por el cual gases y vapores pueden atravesar por un material polimérico.

Esto se produce de dos maneras:

Por un efecto de los microporos, en el cual los gases y vapores fluyen a través de poros microscópicos, agujeros y grietas en los materiales.

Por un efecto de solubilidad-difusión, en el cual los gases y vapores se disuelven en una superficie del polímero, son difundidos a través del polímero en virtud de una gradiente de concentración y se evaporan en la otra superficie del polímero. Este proceso de solución-difusión (también conocido como difusión activa) es llamado permeabilidad real.

Cuando se trata de polímeros muy delgados, la mayoría exhibe ambas formas de permeabilidad. La porosidad decae muy suavemente al incrementar el espesor del polímero, alcanzando virtualmente cero con varios de los materiales disponibles comercialmente de mayor espesor.

La permeabilidad real, sin embargo, varía inversamente al espesor del material y, por lo tanto, no puede ser eliminada de forma efectiva simplemente al incrementar el espesor del material.

A diferencia del metal y envases vidrios, los empaques plásticos son permeables y el concepto de permeabilidad está normalmente asociado con la evaluación cuantitativa de las propiedades barrera de un plástico. Un plástico que es buena barrera tiene una permeabilidad baja. (Robertson, 2013).

Permeación. Robertson (2013)

La permeación, es el paso de un gas o vapor a través de una membrana.

Permeancia. Robertson (2013)

La permeancia es un indicador de evaluación de desempeño, representado por la permeabilidad de un material de espesor conocido.

Barrera. Robertson (2013)

Las propiedades barrera de los plásticos, indican su resistencia a la sorción y difusión de sustancias como: gases y compuestos aromáticos y compuestos de sabor.

La protección de los alimentos de gases e intercambio de vapor con el ambiente depende de la integridad de los empaques (incluyendo sellos y cierres) y de la permeabilidad del material de empaque.

Vida Útil. Robertson (2013)

El instituto de tecnólogos de alimentos de USA (IFT), define la vida útil de alimentos (1974) como “el periodo entre la producción y la compra de un producto alimenticio, tiempo durante el cual el producto está en un estado de calidad satisfactoria en términos de valor nutricional, sabor, textura y apariencia.

Según Labuza y Schmidl (1988); la vida útil es el periodo de duración entre el empaqueo de un producto y el deterioro de su calidad, determinada por el porcentaje de consumidores que están insatisfechos con el producto. Sin embargo, esta definición debe considerar el establecimiento de una línea base del consumidor insatisfecho (no todos los consumidores encontrarán un producto inaceptable al mismo tiempo); está implícito un componente económico; ya que es imposible complacer a todos los consumidores todo el tiempo.

Objetivos e Hipótesis.**Objetivos.**

El objetivo de la presente investigación es encontrar el efecto del material de empaque en la humedad final del producto, así como la estabilidad del producto, durante el tiempo de almacenamiento.

En el presente estudio se plantea hallar una relación vinculante entre el tipo de empaque, con las manzanas deshidratadas.

Se van a emplear dos materiales de empaque: polipropileno orientado (OPP), y polipropileno Metalizado (MetPP).

Hipótesis.

Al emplear el material de empaque de polipropileno metalizado (MetPP), el cual presenta menor permeabilidad al vapor de agua, que el material de empaque de polipropileno orientado (OPP), el incremento en la humedad final del producto empaquetado será menor en el producto empaquetado en polipropileno metalizado (MetPP).

METODO

La presente investigación es de tipo combinado. Comienza con la parte inductiva, a partir de la investigación teórica del tema en cuestión, para luego pasar a la fase experimental (medición en el tiempo a condiciones dadas, de la ganancia de humedad por parte de las manzanas deshidratadas), donde se emplea el método deductivo.

Tipo y diseño de Investigación.

Tipo de Investigación.

La presente investigación es aplicada, debido a que se ha desarrollado un modelo de estudio experimental. Se determinó la variación en los niveles de humedad de la fruta deshidratada empacada, durante el tiempo de estudio.

Se elaboraron muestras por duplicado, las cuales fueron pesadas. Luego, los resultados de las mediciones de peso obtenidas fueron promediados. Con los datos obtenidos, se desarrollaron las gráficas expuestas en el capítulo VI.

Se registró la humedad inicial y final de las muestras de manzana deshidratadas (en empaques de distintos materiales).

Es una investigación experimental con una variable (medición de humedad en el tiempo).

Nivel de Investigación.

De acuerdo a lo difundido por la división de Evaluación Sensorial del Instituto de Tecnología de Alimentos (IFT, 1981), la presente investigación es de nivel descriptivo. Esto, debido a que involucra un estudio de la estabilidad de las manzanas deshidratadas durante su almacenamiento. (Ureña y D´ Arrigo, 1999).

Se realiza una fase experimental en la cual se midió el impacto producido en los niveles de humedad en manzanas deshidratadas al someter a cámara climática. Se seleccionó dos marcas de manzanas deshidratadas adquiridas en supermercado Limeño. Esto, mediante su envasado en distintos materiales de empaque (OPP y MetPP), bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad. Cabe mencionar, que existen productos similares a la manzana deshidratada, envasados con polipropileno como material de empaque. En países desarrollados, se emplean empaques barrera al vapor de agua, fáciles de abrir (con ziploc), para manzanas deshidratadas, así como empaques de polipropileno metalizados.

Diseño de investigación.

La investigación llevada a cabo es de tipo experimental, para la cual se seleccionaron dos marcas conocidas de manzanas deshidratadas. En la revisión de literatura, se seleccionaron investigaciones prácticas relacionadas a la variable humedad.

Para la fase experimental, se llevó a cabo un procedimiento experimental conocido. Se utilizaron equipos de los laboratorios de química de USIL; en donde se llevaron a cabo mediciones para la determinación de humedad inicial de cada una de las muestras.

Se programó la cámara climática para la ejecución de los experimentos llevados a cabo:

Experimento 1: Almacenamiento de manzanas deshidratadas empacadas, a una temperatura de 35° C y a 80% de humedad relativa, durante un tiempo de 10 días.

Experimento 2; Almacenamiento de manzanas deshidratadas empacadas, a una temperatura de 45° C y a 80% de humedad relativa, durante un tiempo de 10 días.

Se registraron los pesos de los paquetes sometidos a cámara, antes y después del tiempo de almacenamiento.

Variables

La relación entre la variable dependiente con las variables independientes es:

$$H_{\text{final del almacenamiento}} = F(T^{\circ}, \text{Material de Empaque}, \text{Producto Empacado})$$

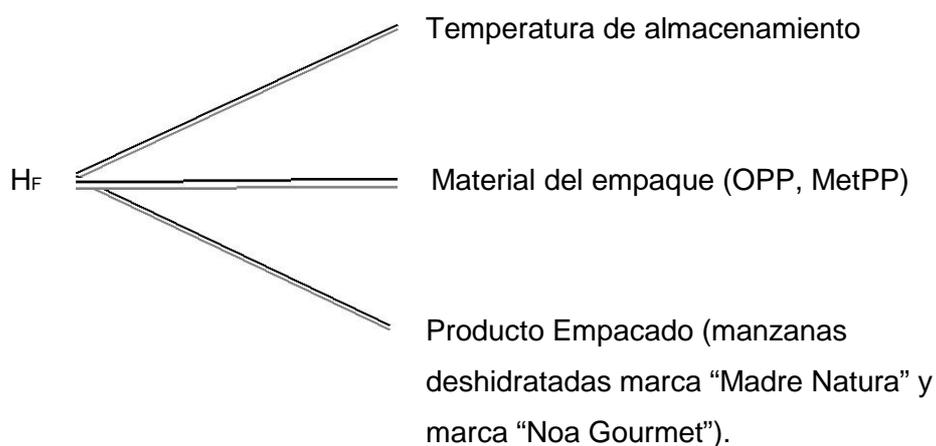
Donde:

H: Humedad del producto

T °: Temperatura de almacenamiento

Material de Empaque: Polipropileno orientado (OPP) y Polipropileno Metalizado (MetPP)

Producto Empacado: Manzanas deshidratadas marca "Madre Natura" y marca "Noa Gourmet"



Exclusiones.

La investigación no incluye los procesos de compra, transformación de materia prima y obtención de manzanas deshidratadas. Asimismo, no incluye los procesos de comercialización del producto final.

En lo referente a las variables que afecten la humedad al final del almacenamiento, no se han tomado en consideración los siguientes factores como variables independientes: El uso de aditivos u otros elementos que permitan mejorar la calidad del producto durante su almacenamiento, ya que en la presente investigación se considera el uso de hojuelas de manzana sin aditivos ni conservantes.

No se toman en cuenta otros parámetros de medición en la calidad del producto, tales como actividad de agua, u otros que se encuentran dentro de las características organolépticas, las cuales necesitan de un panel de análisis cualitativo, y el uso de tablas y herramientas de estadística para poder traducir estos resultados a términos numéricos y hacerlos ponderables.

Muestra.

Las muestras estudiadas se obtuvieron a partir de dos marcas nacionales conocidas de manzanas deshidratadas, "Madre Natura" y "Noa Gourmet". Se utilizaron 200 gramos de manzana deshidratada por cada marca, obtenidas de un mismo lote de producción.

Las etiquetas correspondientes a las manzanas deshidratadas "Madre Natura", presentaron la siguiente información: código de producción 10/045 y fecha de vencimiento 02-09-15. Las etiquetas correspondientes a las manzanas deshidratadas "Noa Gourmet", presentaron la siguiente información: código de barras, fecha de producción 04/08/15 y fecha de vencimiento 04/11/15.

Los factores considerados para la determinación de las muestras en relación a la población en estudio, fueron:

La disponibilidad de producto en los principales mercados y supermercados de Lima.

El producto a considerar para el muestreo debe ser de marca y contar con requisitos mínimos, como etiquetado, fecha de vencimiento y código de lote.

A partir de estas dos consideraciones, se identificó a la Marca "Noa Gourmet", como marca presente a nivel de supermercado.

Las manzanas adquiridas en "Madre Natura", tienda naturista con presencia en el mercado, fue seleccionada debido a la aceptación por el mercado de sus productos, por su presencia en el mercado, y solidez en sus productos. En relación a las manzanas

deshidratadas que ofrecen, éstas se caracterizan por presentar productos estándares a nivel sensorial (color, olor, gusto, aroma, apariencia, sabor, textura, rugosidad).

Se logró identificar otras marcas existentes en el mercado, las cuales son comercializadas a través de otros canales de distribución (ferias artesanales, tiendas gourmet, puntos de venta al menudeo). La mayoría de estos productos, con menores estándares de calidad (sin registro sanitario, etc.), por lo cual no se tomaron en consideración por presentar bajos niveles de aceptabilidad.

Delimitación geográfica.

La investigación se restringe a la agroindustria de producción de manzanas deshidratadas para la cual se utiliza materia prima de los valles cercanos a Lima. Para ello, se preguntó a los fabricantes sobre la procedencia de las manzanas para su procesamiento.

Delimitación sectorial.

La investigación se restringe a la agroindustria productora de manzanas deshidratadas.

Delimitación por procesos.

La investigación se restringe a los procesos de empaque de manzanas deshidratadas.

Instrumentos de investigación.

Se registró la humedad inicial a las muestras seleccionadas. Luego, se procedió con la parte experimental:

Se registraron los pesos de los empaques antes del almacenamiento y después del almacenamiento en la cámara climática, para los dos experimentos:

Experimento 1: Almacenamiento de manzanas deshidratadas empacadas, a una temperatura de 35° C y a 80% de humedad relativa, durante un tiempo de 10 días.

Experimento 2: Almacenamiento de manzanas deshidratadas empacadas, a una temperatura de 45° C y a 80% de humedad relativa, durante un tiempo de 10 días.

Fase Experimental.

Procedimiento.

Preparación de las Muestras:

Las muestras de manzanas deshidratadas adquiridas en tienda, se reempacaron aleatoriamente, en los materiales de polipropileno orientado (OPP) y polipropileno metalizado (MetPP), con un área expuesta al flujo másico de 0.014 m².

El contenido de los empaques fue de 20 gramos de manzanas deshidratadas, aproximadamente. Para ello, se llevó a cabo la medición de peso por triplicado al producto empacado conteniendo las manzanas deshidratadas. Los resultados son presentados en el capítulo VI.

Las muestras se prepararon por duplicado, tanto para el experimento 1 (almacenamiento a 35° C y a 80% de humedad relativa, por 10 días), como para el experimento 2 (almacenamiento a 45° C y a 80% de humedad relativa, por 10 días).

Se registraron los pesos de cada producto empacado, antes del almacenamiento y después del almacenamiento en cámara climática, para cada experimento llevado a cabo.

Lugar y Fecha de Ejecución:

La fase experimental, se llevó a cabo en cámara climática, en los laboratorios de química de USIL. Durante el desarrollo de los experimentos, se añadió agua para el funcionamiento adecuado de la cámara, de acuerdo a los parámetros (humedad y temperatura), fijados para el desarrollo del estudio.

Los experimentos fueron llevados a cabo en las siguientes fechas:

Experimento 1: del 16 de Agosto 2015 al 26 de Agosto 2015.

Experimento 2: del 27 de Agosto 2015 al 06 de Setiembre 2015.

Materias Primas e Insumos:

Manzanas Deshidratadas marca “Madre Natura” y marca “Noa Gourmet”, obtenidas en tiendas de Miraflores, Lima.

Materiales de Empaques: Se utilizó un OPP reusado a partir de los empaques de uno de los productos adquiridos, de 60 µm de espesor. El MetPP, de 50 µm de espesor; fue obsequiado durante la entrevista al Sr Pablo Espejo, gerente de Rotopack S.A. (empresa productora de empaques flexibles).

Equipos Utilizados:

Balanza Analítica, Marca A&D. Modelo GH200. USA.
 Estufa Marca Memmert, Modelo UN160. Germany.
 Cámara Climática, Marca Pol-Eko Aparatura. Modelo KK115. EU.
 Selladora Manual, Marca Dazey. Modelo SAM 2. USA.
 Micrómetro marca Pasco.
 Desecador.

Materiales de Laboratorio:

Placas Petri.
 Tijera Manual.
 Tabla de Picar.
 Regla de 20 cm.
 Pinzas de fierro.

Métodos de Análisis:**Físico-Químicos:**

Humedad inicial, por el método de determinación gravimétrica de la sustancia seca.
 Matissek et al. (1998)

Determinación de humedad inicial de las muestras.

Se empleó el método de determinación gravimétrica de la sustancia seca (Matissek, 1998). Aleatoriamente, se pesaron y colocaron 5 gramos (por duplicado) de manzana picada en trozos, de cada muestra, en estufa por un tiempo de 60 horas, a una temperatura de 105° C.

Luego, se realizaron los siguientes cálculos:

$$\% \text{ Humedad Inicial} = \frac{\text{Pérdida de Peso}}{\text{Peso de Muestra Húmeda}} \times 100$$

Determinación de humedad final.

Con los datos obtenidos de humedad inicial de las muestras de las manzanas deshidratadas “Madre Natura” y “Noa Gourmet”, se utilizó la siguiente fórmula:

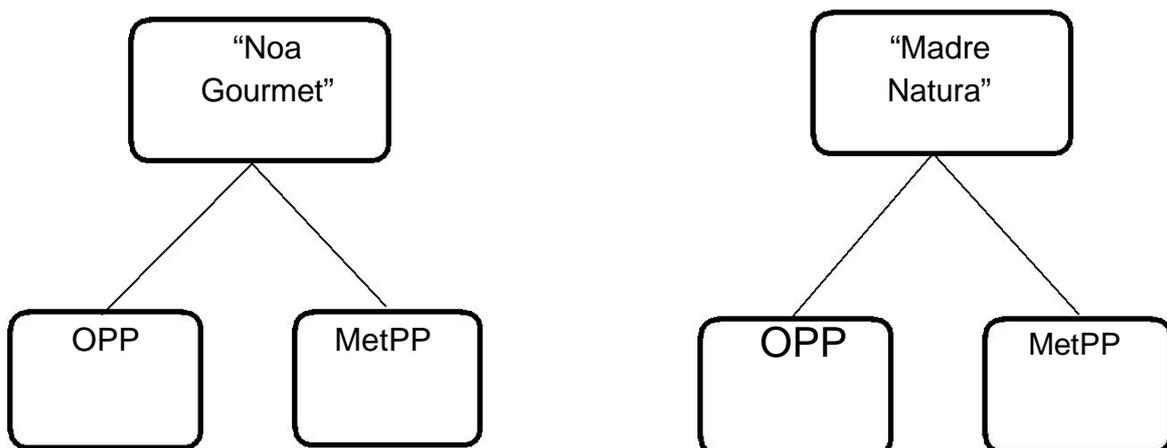
$$\% \text{ Humedad Final} = \frac{(\text{Peso inicial} \times \text{Humedad inicial}) + \text{diferencia de peso}}{\text{Peso Final}}$$

Plan de análisis.

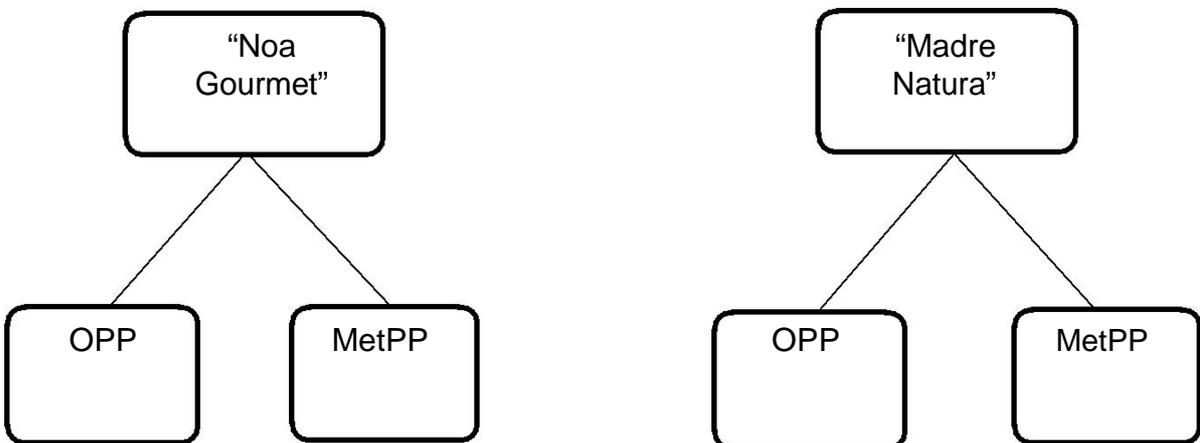
En la presente investigación, se realizaron dos experimentos para estudiar el comportamiento de la humedad dentro de los empaques conteniendo manzanas deshidratadas. Esta fase experimental es complementada con la revisión de literatura, tanto sobre aspectos teóricos, como investigaciones prácticas relacionadas al tema. A partir de los resultados obtenidos en la parte experimental, se desarrollaron gráficas comparativas, presentadas en los resultados.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Experimento 1: Almacenamiento en Cámara Climática a 35° C y 80% de humedad relativa, durante 10 días.



Experimento 2: Almacenamiento en Cámara Climática a 45° C y 80% de humedad relativa, durante 10 días.



RESULTADOS

Presentación de resultados.

Determinación de Humedad Inicial.

Se seleccionó aleatoriamente trozos de manzanas deshidratadas, haciendo un peso aproximado de 5 gramos, para cada marca.

Luego, las muestras colectadas fueron picadas manualmente, mezclados y posteriormente, sometidos a estufa, por 60 horas a 105° C, según el método de determinación gravimétrica de la sustancia seca. Matissek et al. (1998)

La muestra seleccionada correspondiente a la marca "Madre Natura", presento una humedad inicial de 8.75%, mientras que la muestra seleccionada de la marca "Noa Gourmet", presento una humedad de 12.35%.

Peso de los Productos Empacados sometidos a Cámara Climática.

Tabla N° 1: Variación del peso de las manzanas deshidratadas sometidas a cámara climática (35° C, 80% H.R.)

Rotulación	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1. "N" MetPP	19.7179	20.0219
2. "N" MetPP	20.1786	20.4716
3. "N" OPP	19.7581	20.4099
4. "N" OPP	19.9881	20.6933
5. "M" OPP	20.3251	20.9645
6. "M" OPP	19.9871	20.6338
7. "M" MetPP	19.5868	19.8468
8. "M" MetPP	20.0062	20.2625

Tabla N° 2: Variación del peso de las manzanas deshidratadas sometidas a cámara climática (45° C, 80% H.R.)

Rotulación	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
9. "N" MetPP	20.1497	21.0908
10. "N" MetPP	20.4939	21.3814
11. "N" OPP	20.4341	22.1615
12. "N" OPP	20.2596	21.9053
13. "M" OPP	19.8714	21.6854
14. "M" OPP	19.7724	21.3832
15. "M" MetPP	20.4051	21.1185
16. "M" MetPP	20.1899	20.9115

En las tablas 1 y 2, se presentan los resultados de variación de pesos registrados durante el tiempo de permanencia de las muestras en la cámara climática, a 80% de humedad relativa a 35° C y a 45° C, respectivamente.

Humedad Final.

Tabla 3: Porcentaje de humedad final de las manzanas deshidratadas sometidas a cámara climática (35° C, 80% H.R.)

Rotulación	Humedad Final
1. "N" MetPP	13.68%
2. "N" MetPP	13.61%
3. "N" OPP	15.15%
4. "N" OPP	15.34%
5. "M" OPP	11.54%
6. "M" OPP	11.61%
7. "M" MetPP	9.95%
8. "M" MetPP	9.91%

Tabla 4: Porcentaje de humedad final de las manzanas deshidratadas sometidas a cámara climática (45° C, 80% H.R.)

Rotulación	Humedad Final
9. "N" MetPP	16.26%
10. "N" MetPP	15.99%
11. "N" OPP	19.18%
12. "N" OPP	18.94%
13. "M" OPP	16.39%
14. "M" OPP	15.63%
15. "M" MetPP	11.83%
16. "M" MetPP	11.90%

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados del porcentaje de humedad final luego del almacenamiento en cámara climática a 80% de humedad relativa a 35° C y a 45° C, respectivamente.

DISCUSION DE RESULTADOS.

A pesar de que ambos productos (en tienda) son empacados en el mismo material (OPP), las diferencias en contenido inicial de Humedad (12.35% para las manzanas deshidratadas marca "Noa Gourmet" y 8.75% para las manzanas deshidratadas marca "Madre Natura") pueden deberse a las condiciones del procesamiento para la obtención de las manzanas deshidratadas y al método empleado para la determinación de humedad inicial.

Gobbi et al. (2010) en un estudio previo, estudiaron la influencia de la variedad y condiciones de procesamiento en la crocantez de chip de manzana secados por osmosis. Se menciona a Lewicki y Jakubczyk (2004), quienes verificaron la relación entre el estado del agua en el producto seco con la temperatura de secado. La investigación desarrollada por Gobbi et al. (2010), demuestra que a mayor temperatura de secado, el color de la manzana deshidratada aumenta de tono (rojizo). Esta relación se dio en la parte experimental del presente estudio (las manzanas deshidratadas marca "Noa Gourmet" presentan mayor humedad y menor coloración que las manzanas deshidratadas marca "Madre Natura").

En relación al método empleado en la determinación de humedad inicial de las manzanas deshidratadas, Matissek et al. (1998) afirma que, antes de utilizar el procedimiento de determinación de humedad por determinación gravimétrica de la sustancia seca; debe estimarse las posibilidades de error y tener en cuenta los casos en que se puede aplicar. Sustancias volátiles como el ácido carbónico, los alcoholes, los aceites etéreos conducen a un contenido de agua más elevados. Además, el agua se forma también a través de reacciones químicas (por ej., las reacciones de Maillard), que se determinará a la vez y que conducirá a un contenido acuoso mayor.

Por su parte, Nielsen (2010) sostiene: los carbohidratos se descomponen a 100° C, liberando agua en la reacción. La humedad generada en la descomposición de carbohidratos no es la humedad que queremos medir. Ciertas otras reacciones químicas (como la hidrólisis de sacarosa) pueden resultar en la utilización de humedad, lo que reduciría la humedad para la medición.

En la presente investigación, en relación a lo expuesto por los autores mencionados, se ha alterado la composición de las muestras, dando como resultado, valores de humedad inicial alto, para ambas marcas de manzana deshidratadas ("Noa Gourmet" y "Madre Natura").

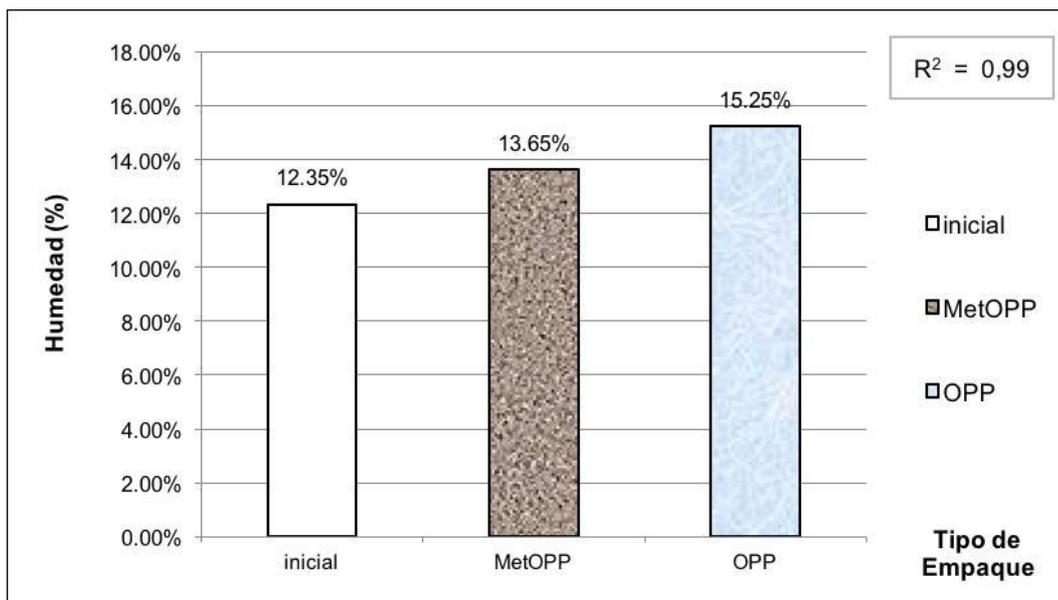


Fig. 1: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca "Noa Gourmet", almacenadas por 10 días a 35° C y 80% de Humedad Relativa.

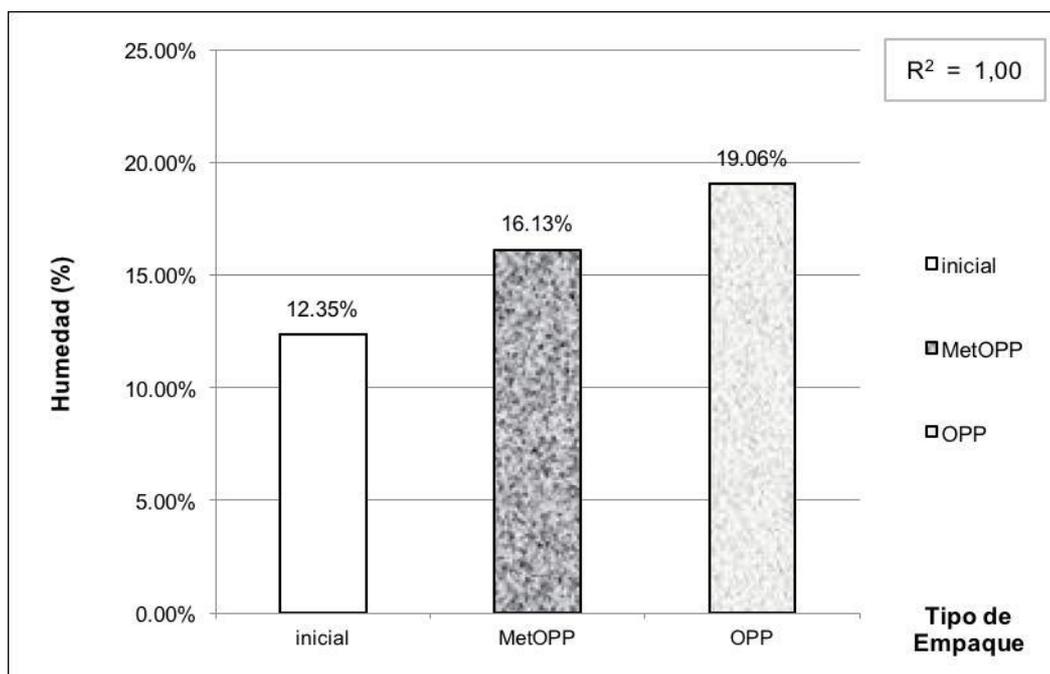


Fig. 2: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca "Noa Gourmet", almacenadas por 10 días a 45° C y 80% de Humedad Relativa.

Las figuras 1 y 2, muestran los resultados para la marca "N", los cuales son consistentes con el incremento de temperatura. A mayor temperatura, mayor incremento de humedad.

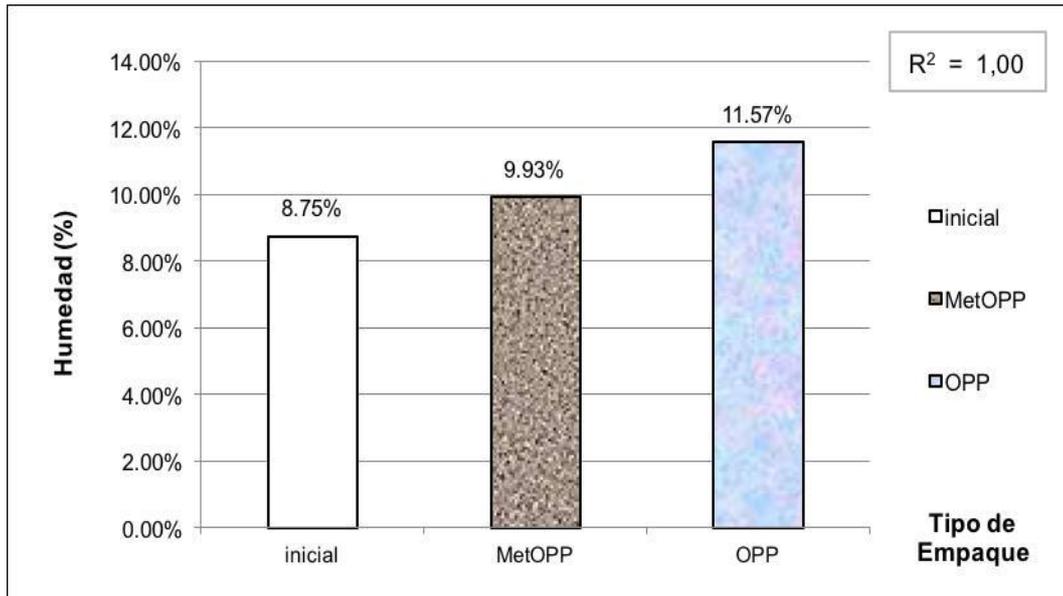


Fig. 3: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca “Madre Natura”, almacenadas por 10 días a 35° C y 80% de Humedad Relativa.

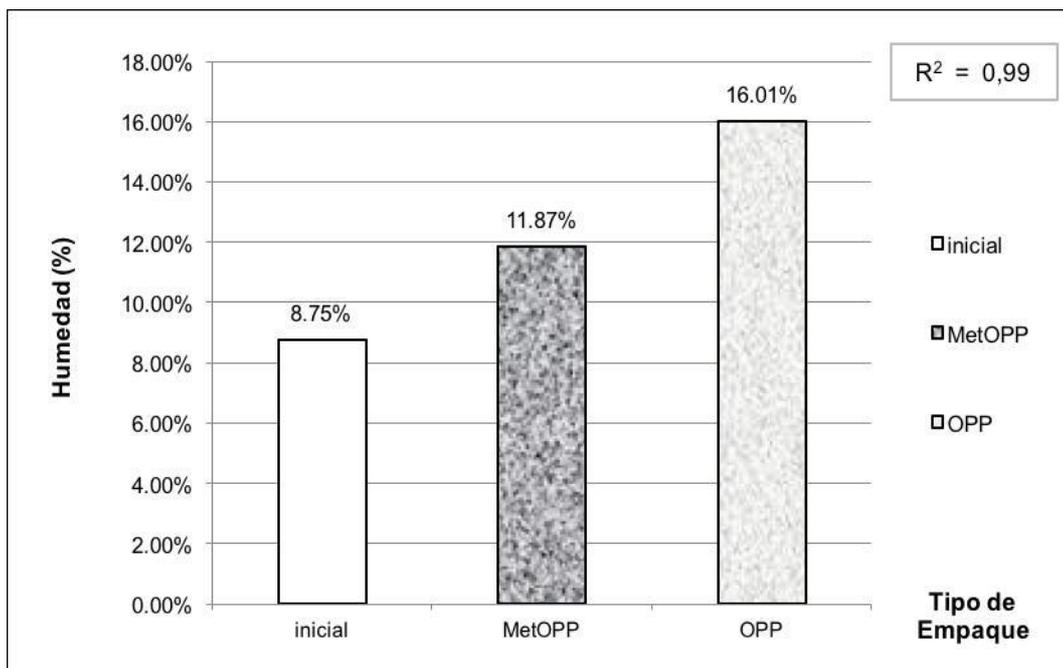


Fig. 4: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca “Madre Natura”, almacenadas por 10 días a 45° C y 80% de Humedad Relativa.

La tendencia incremental vista en las figuras 1 y 2 se presentó asimismo, para la marca “M” (tal como se observa en las figuras 3 y 4).

El empaque de OPP presenta mayor permeación que el empaque de MetPP, representada por la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR). Robertson (2013).

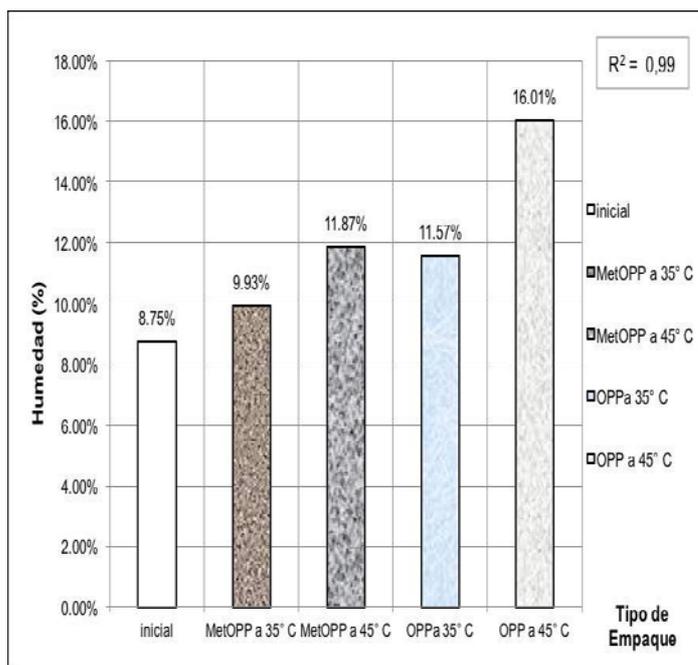


Fig. 5: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca "Madre Natura": 35° C vs. 45° C almacenadas por 10 días a 80% de Humedad Relativa.

Tabla Nº 5: Desviación Estándar y Promedio de humedad final para las manzanas deshidratadas marca "Madre Natura".

Empaque / T°	Promedio	Desviación Estándar
MetOPP / 35° C	9.93%	0.03%
MetOPP / 45° C	11.87%	0.05%
OPP / 35° C	11.57%	0.05%
OPP / 45° C	16.01%	0.54%

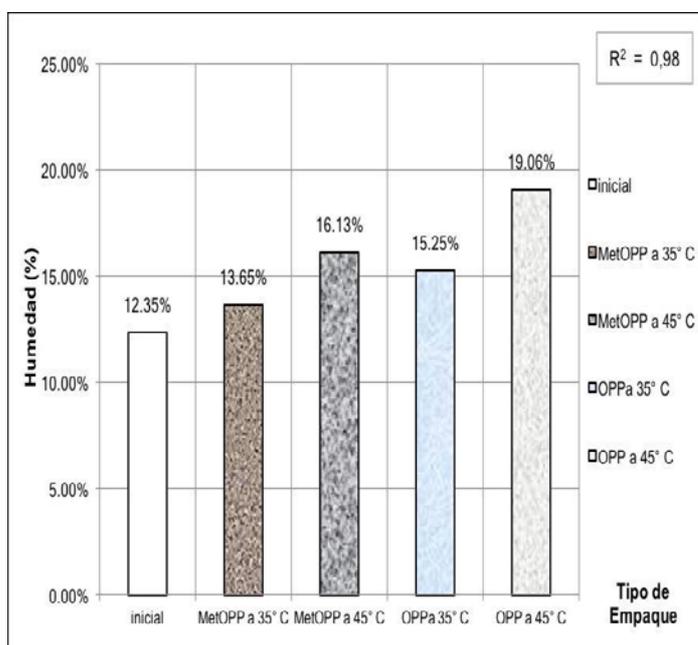


Fig. 6: Valores de humedad experimentales para las manzanas deshidratadas Marca "Noa Gourmet": 35° C vs. 45° C almacenadas por 10 días a 80% de Humedad Relativa.

Tabla Nº 6: Desviación Estándar y Promedio de humedad final para las manzanas deshidratadas marca "Noa Gourmet".

Empaque/T°	Promedio	Desviación Estándar
MetOPP / 35° C	13.65%	0.05%
MetOPP / 45° C	16.13%	0.19%
OPP / 35° C	15.25%	0.13%
OPP / 45° C	19.06%	0.17%

En las figuras 5 y 6, podemos observar como la tendencia incremental de humedad final, guardó relación entre los experimentos, las marcas de manzanas deshidratadas empacadas, de acuerdo a los empaques usados (OPP y MetPP). Las Tablas 5 y 6, muestran los valores de desviación estándar obtenidos.

Siendo los valores de humedad inicial de ambas muestras diferentes; la marca "M", presentó un valor inicial de humedad de 8.75%, y la marca "N", de 12.35%; lo antes señalado es concordante con lo señalado por Saavedra et al. (2013), quienes llevaron a cabo una investigación de vida útil acelerada, en un bocadillo de manzana deshidratada existente en el mercado, empacadas en empaques metalizados de barrera alta al vapor de agua. Demostraron que el incremento de humedad es directamente proporcional a la temperatura de almacenamiento, encontrando una relación entre el incremento de humedad en las manzanas debido a la migración gradual de humedad dentro del empaque.

Swain et al. (2013), por su parte, al estudiar distintos materiales de empaque y distintas condiciones de almacenamiento en pimientos rojos y amarillos deshidratados por microondas, hallaron que el incremento en los niveles de humedad fue mayor en los pimientos empacados en polipropileno (PP), seguido por polietileno de alta densidad (HDPE). Se encontró que los pimientos envasados en empaque de aluminio (lámina de aluminio) tuvieron menor incremento de humedad y fueron afectados en menor grado por las condiciones de almacenamiento, por lo cual pueden ser aptos para la conservación de pimientos deshidratados.

Limitaciones Encontradas.

En el presente estudio, se utilizaron promedios de los resultados de humedad para determinar la humedad inicial y final de las muestras.

Para la determinación de humedad inicial, los resultados obtenidos fueron altos, debido a la degradación de azúcares por el tiempo prolongado en estufa.

No se encontró información técnica de los materiales utilizados en la preparación de los Empaques.

CONCLUSIONES

De acuerdo al experimento, el nivel de barrera al vapor de agua ofrecido por el empaque metalizado (MetPP), es mayor al nivel de barrera dado por el empaque de polipropileno (OPP).

Los resultados en el almacenamiento a 35° C y 80% de humedad relativa, en comparación con los obtenidos en el almacenamiento a 45° C y 80% de humedad relativa, reflejan la disminución de vida útil, proporcionalmente al aumento de temperatura entre los experimentos. A mayor temperatura, menor vida útil. Para dos temperaturas diferentes (T , $T + 10$), la tasa de una reacción de deterioro a estas dos temperaturas, está relacionada a la vida útil a esas dos temperaturas.

Los valores de humedad inicial de las muestras estudiadas, se encuentran fuera del rango de manzanas deshidratadas (12,35% para las manzanas deshidratadas marca "Noa Gourmet" y 8,75% para las manzanas deshidratadas marca "Madre Natura"), en relación a las investigaciones usadas como referencia (Saavedra et al, 2013; evalúan manzanas deshidratadas con 1.37% de humedad).

RECOMENDACIONES

Para la determinación de humedad inicial, la muestra debe estar molida, para obtener un dato homogéneo.

Para investigaciones futuras en manzanas deshidratadas presentes en el mercado, se sugiere considerar muestras con niveles de humedad del 6% o menores. En el presente estudio, se utilizaron muestras con un contenido inicial de humedad de 8.75% para la muestra "M", y de 12.35% para la muestra "N". En las investigaciones revisadas, las muestras analizadas presentaron niveles de humedad mucho menores a los observados. (Saavedra et al, 2013)

Para la determinación de humedad inicial en investigaciones relacionadas, emplear un método de mayor precisión, como el empleo de una estufa de vacío, a una temperatura de 70° C y a un tiempo de 3 a 6 horas. Nielsen (2010)

Por otra parte, se sugiere emplear material de empaque con adecuado nivel de barrera al vapor de agua. Esto, debido al poder higroscópico de las manzanas deshidratadas. Ver Anexo N° 2.

En productos delicatessen, se utilizan empaques trilaminados, donde la capa interior consiste en una lámina de aluminio, material que presenta un nivel de barrera muy alto. (Robertson, 2013)

REFERENCIAS

- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* (4^{ta} Ed). México: Pearson.
- Bhatia, K. Asrey, R., JHA., SK., Singh, S. & Kannaujia, P. (2013). Influence of Packaging material on quality characteristics of minimally processed Mridula pomegranate (*Punica granatum*) arils during cold storage. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 83, p72-76.
- Cruz, A., Guiné, R., Gonçalves, J. (2015). Drying Kinetics and Product Quality for Convective Drying of Apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). *International Journal of Fruit Science* 15, p54-78.
- Frost-Sullivan-Tera. (2014). New Packaging plastic that protects as good as aluminium foil. *PR Newswire Europe Including UK Disclose*, p5.
- Gobbi, S., Farris, S., Limbo, S. & Torreggiani, D. (2010). Influence of Cultivar and Process Conditions on Crispness of Osmo-Air-Dried Apple Chips. *Journal of Food Engineering* 35 p810-820.
- Gobbi, S., Limbo, S., Lamiani, P., Torreggiani, D. (2011). Shelf-Life Study of Osmo-Air-Dried Crispy Apple Chips in Different Packaging Solutions. *Italian Journal of Food Science. Supplement*, p197-200.
- Hande, AR., Swami, SB., Thakor, NJ. (2014). Effect of drying methods and packaging materials on quality parameters of stored kokum rind. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering* 7, p114-126.
- Lamiani, P., Limbo, S., Piergiovanni, L. (2010). Innovative Approaches and Instruments in Modelling and Monitoring the Moisture Diffusion in Packages and Moisture Adsorption by Dried Products. *Italian Journal of Food Science Supplement*, P182-184.
- Laurienzo, P., Cammarota, G., Di Stasio, M., Gentile, G., Laurino, C., Volpe., M. (2013). Microstructure and Olfactory Quality of Apples Dehydrated by Innovative Technologies. *Journal of Food Engineering*, 116, p689-694.
- Manikantan, M., Varadharaju, N. (2011). Preparation and Properties of Polypropylene-Based Nanocomposite Films for *Food Packaging Technology and Science*, 24, p191-209.
- Matissek, R.; Schnepel, F.M.; Steiner, G. (1998). *Análisis de los alimentos: Fundamentos, métodos, aplicaciones*. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.
- Nielsen, S. (2010). *Food Analysis*. (4rd Ed). New York: Springer.
- Robertson, G. (2013). *Food Packaging: Principles and Practice*, L. (3rd Ed). Florida: CRC Press.
- Saavedra, J., Córdova, A., Gálvez, L., Quezada, C., Navarro, R. (2013). Principal Component Analysis as an exploration tool for kinetic modeling of food quality: A Case study of a dried apple cluster snack. *Journal of Food Engineering*, 119, p229–235.
- Singh, P. & Heldman, D. (1993). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos* (2^a Ed.). Zaragoza: Editorial Acribia.

- Siracusa, V., Blanco, I., Romani, S., Tylewicz, U., Dalla Rosa, M. (2012). Gas Permeability and Thermal Behavior of Polypropilene Films Used for Packaging Minimally Processed Fresh-Cut Potatoes: A Case Study. *Journal of Food Science*. 77, p264-272.
- Swain, S., Samuel, D., Kar, A. (2013). Effect of Packaging Materials on Quality Characteristics of Osmotically Pretreated Microwave Assisted Dried Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.) *Journal of Food Process Technology* p 4-9.
- The Columbia Encyclopedia. (2015). 6th Ed. "packaging". Recuperado el 15 de Diciembre de 2015 de Encyclopedia.com: <http://www.encyclopeida.com/doc/1E1-packagin.html>.
- Toledo, R. (1991). *Fundamentos De Ingeniería de Procesos Agroindustriales*. (2^a Ed). Maryland: Aspen Publishers.
- Ureña, M. & D'Arrigo, M. (1999). *Evaluación Sensorial de los Alimentos* (1^a Ed.). Lima: Editorial Agraria.

ANEXOS

ANEXO N ° 1:

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Resultados
<p>¿Cómo optimizar la vida de anaquel de la manzana deshidratada, mediante el mejoramiento del empaque?</p>	<p>Encontrar el efecto del empaque en la humedad final del producto, así como la estabilidad del producto, durante el tiempo de almacenamiento (vida útil).</p> <p>En el presente estudio se plantea hallar una relación vinculante entre el tipo de empaque de los chips de manzana y el producto en cuestión.</p>	<p>Al emplear un empaque con una menor permeabilidad al flujo de vapor de agua, el incremento en la humedad final del producto será menor al del producto con el que se usó otro empaque durante la fase experimental.</p>	<p>Se evidenció de forma práctica la diferencia entre la permeabilidad de los empaques utilizados.</p> <p>Se demostró como el incremento de 35°C a 45° C en la temperatura del vapor de agua afecta la permeabilidad de los empaques usados.</p>

ANEXO N ° 2:

Oxygen Transmission Rate (OTR) and Water Vapor Transmission Rate (WVTR) of Some Plastic Films

Polymer (25 μm Thick)	OTR	WVTR	
	(23°C/0% RH) $\text{mL m}^{-2} \text{day}^{-1}$	(38°C/90% RH) $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$	(25°C/75% RH) $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$
Low density polyethylene	7400	12.50	4.00
High density polyethylene	1600	3.70	1.45
Polypropylene (cast)	3040	8.20	3.30
Polypropylene (oriented)	1550	5.00	1.35
Polypropylene (acrylic-coated)	1200	4.60	1.80
Polypropylene (oriented and metallized)	35	1.00	
Poly(vinyl chloride) (rigid)	120	32.00	12.00
Poly(vinyl chloride) (oriented)	27	17.50	7.00
Poly(vinyl chloride) (plasticized)	190–3100	85.00	32.70
PVdC/PVC copolymer	1.25–14.5	0.6–3.20	0.25
Poly(ethylene terephthalate)	55	20.00	7.00
Poly(ethylene terephthalate) (PVdC/PVC copolymer-coated)	8.00	8.50	3.40
Poly(ethylene terephthalate) (metallized)	0.65	1.00	0.40
Polyamide (nylon) 6	40	280	80–110
Polyamide (nylon) 6 (oriented)	18	130	28
Polyamide (nylon) 6,6	35	90	15–30
EVOH copolymer (32% ethylene)	0.2	80.0	32.0
Cellulose film MXXT/A (PVdC/PVC copolymer coated)	8.75	8.60	3.40

Source: Mathlouthi, M., Packaging/packaging of solids, in: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2nd edn., Vol. 7, Caballero, B., Trugo, L.C., and Finglas, P.M. (Eds), Academic Press, London, England, p. 4314, 2003. With permission.

Tasa de transmisión de Oxígeno y de Vapor de Agua de algunas Láminas Plásticas.
(Reproducido de Food Packaging: Principles and Practice, Gordon L. Robertson. 3rd ed. 2013).

ANEXO N ° 3:

Shelf Life of Foods

TABLE 12.3
Effect of Q_{10} on Shelf Life

Temperature (°C)	Shelf Life (Weeks)			
	$Q_{10} = 2$	$Q_{10} = 2.5$	$Q_{10} = 3$	$Q_{10} = 5$
50	2 ^a	2 ^a	2 ^a	2 ^a
40	4	5	6	10
30	8	12.5	18	50
20	16	31.3	54	4.8 years

Source: Labuza, T.P. and Kamman, J.F., Reaction kinetics and accelerated tests simulation as a function of temperature, in: *Computer-Aided Techniques in Food Technology*, Saguy, I. (Ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 71–115, 1983.

^a Arbitrarily set at 2 weeks at 50°C. Shelf lives at lower temperatures are calculated on this arbitrary assumption.

Efecto de Q_{10} en la Vida Útil. (reproducido de Food Packaging: Principles and Practice, Gordon L. Robertson. 3rd ed. 2013).

ANEXO N ° 4:

Antes de Estufa:



Muestras "A" y "B": Marca "Madre Natura"



Muestras "C" y "D": Marca "Noa Gourmet"

Luego de Estufa:



Muestras "A" y "B": Marca "Madre Natura"



Muestras "C" y "D": Marca "Noa Gourmet"

ANEXO N ° 5:



Experimento N ° 1: 35 ° C y 80 % de Humedad Relativa.



Experimento N ° 2: 45 ° C y 80 % de Humedad Relativa.

ANEXO N ° 6:



Micrómetro Utilizado para Determinar Espesor de los Empaques Utilizados.



Pesado de los Empaques sometidos a Cámara Climática

