

Análisis y Diseño de Embalajes Flexibles para Alimentos

J. Quintana, F. Cornejo*, A. Rigail-Cedeño **

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción,
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

* fcornejo@espol.edu.ec, ** arigail@espol.edu.ec

Resumen

La industria alimenticia local utiliza diversos materiales para empaquetar sus productos, los que necesitan cumplir con requisitos para poder mantener un alimento apto para el consumo. Se utilizan procedimientos de embalaje elaborados por países desarrollados o acogen las sugerencias del proveedor de los equipos utilizados. Este comportamiento afecta la calidad del producto, ya que las condiciones del medio ambiente y las características de los alimentos difieren alrededor del mundo. El diseño de embalajes optimizará el uso de materiales y prolongará la vida útil de los productos, generando una reducción de costos en la industria plástica. En esta investigación utilizaremos las normas ASTM más comunes del medio para realizar el análisis de las propiedades mecánicas, propiedades de barrera al vapor de agua y la vida útil de los productos alimenticios a empaquetarse, permitiéndonos así realizar el estudio comparativo de la industria de plásticos en el mercado local. Se encontró que las películas de BOPP (Polipropileno bioorientado) obtuvieron las menores WVTR. Los laminados de PET/PE fueron los más impermeables al paso del vapor de Agua. El Coextruido (LDPE/HDPE/mLLDPE) estudiado anteriormente obtuvo la mayor resistencia al dardo que los laminados. El BOPP metalizado obtuvo las mejores resistencias a la tracción en dirección y transversal a la máquina. El Nylon obtuvo excelentes propiedades mecánicas, pero fue muy pobre su permeabilidad al vapor de Agua. La relación materia prima, procesamiento y condiciones ambientales determinaron las propiedades de las películas coextruidas y laminadas.

Palabra claves: *Diseño de embalajes, coextrusión, laminación, propiedades, vida útil, alimentos.*

Abstract

The local food industry uses several materials for product packaging. They need to fulfill requirements to be able to maintain a capable product for human consumption. Packaging procedures are elaborated by developed countries or using suggestions from the equipment supplier. This behavior affects the quality of the product, since the environmental conditions and food characteristics are different around the world. The pack design will optimize the material consumption and it will prolong the product's shelf life, generating cost reduction in the plastic industry. In this research, we used the ASTM tests used to analysis the mechanical properties, vapor of water barrier properties and shelf life for packed products. These allowed us to make the comparative study for the plastic industry in the local market. We found that the BOPP films got the less values of WVTR. La PET/PE laminates were the least permeable for water vapor compared to other laminates and coextruded films. The coextruded film (LDPE/HDPE/mLLDPE) in previous research showed better dart impact than the laminates. The metallized BOPP were the best tensile resistance for transverse and machine direction. The Nylon got excellent mechanical properties, however these films were the worst permeability water vapor properties. In general, the relationship among raw material, processing and environment conditions determined the properties of the coextruded and laminated films

Keywords: *Pack design, coextrusion, lamination, properties, shelf life, and food.*

Recibido: Junio, 2007

Aceptado: Agosto, 2007

1. Introducción

El embalaje es principal uso de productos plásticos debido a su versatilidad de acoplarse a distintas formas y su bajo peso. Entre las mayores aplicaciones del embalaje se encuentra los empaques plásticos para productos alimenticios, los mismos que necesitan cumplir con estrictos parámetros de calidad y mantener su contenido apto para el consumo. Los alimentos tienen distintos comportamientos dependiendo de la naturaleza del ambiente donde se conservan, por lo que se han desarrollado diversos tipos de pruebas para medir y verificar la estabilidad del mismo. La industria alimenticia local utiliza por lo general modelos y diseños de empaques estructurados por los países desarrollados, con lo que adoptan las condiciones de los alimentos del país de origen. En la práctica esto puede acarrear errores en la estimación de vida útil de los productos empacados, debido a que las condiciones atmosféricas locales son diferentes, por lo que necesario realizar estudios más profundos del comportamiento de los alimentos en nuestro medio.^{1,2,3}

Los procedimientos más comunes en el desarrollo de empaques son la coextrusión y la laminación plástica, por lo que desarrollaremos un estudio de las propiedades básicas de los materiales de mayor uso para los materiales de empaque a nivel local. Se tomarán en cuenta los resultados obtenidos del estudio de coextrusión de polietilenos realizado por el Ing. Xavier Alarcón, y se desarrollará el análisis de laminación plástica. Entre las propiedades de mayor importancia para la industria alimenticia se encuentran las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la ruptura, resistencia al impacto y los coeficientes de fricción de los materiales usados como empaques. El segundo tipo de propiedades a ser analizadas son las propiedades de barrera, centrándonos en la permeabilidad al vapor de agua, como varía con la temperatura y como afecta la vida útil del producto empacado.

La metodología de los ensayos se basa en las normas ASTM para la medición de las propiedades en cuestión, complementando estos resultados con los cálculos aplicados de cada uno de los parámetros medidos, mostrados a continuación en el Procedimiento Experimental

2. Procedimiento Experimental

Las muestras para el desarrollo los ensayos de propiedades mecánicas y de barrera fueron obtenidos gracias a la colaboración de PLASTLIT, una de las empresas líderes en laminación plásticas de la industria local. Los datos principales de los

materiales utilizados, tales como el producto a ser empacado, sus componentes y su espesor; los que se muestran en Tabla 1. Se utiliza una nomenclatura abreviada para la descripción del material,

Tabla 1. Datos de los materiales utilizados

DATOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS					
Nombre	Producto Empacado	Comp.	Espesor (micras)	%	Total (micras)
L1	Gelatina	BOPP	20	50	40
		BOPP Met.	20	50	
L2	Ají	PET	12	21,43	56
		PE	44	78,57	
L3	Pescado	PET	12	10,53	114
		PE	102	89,47	
BOPP 20	-	BOPP	20	100	20
BOPP 30	-	BOPP	30	100	30
NYLON 25	-	Nylon	25	100	25

Se realizaron los siguientes ensayos: a) Ensayo de tracción y elongación. Se utilizó un equipo de tracción universal INSTRON y se siguió el procedimiento de la norma ASTM D882 para ensayar películas⁵ b) Ensayo de Impacto al dardo. Para el ensayo de impacto se utilizaron los equipos de laboratorio de Materiales de la FIMCP, siguiendo la norma ASTM D1709⁶, c) Ensayo de Coeficiente de Fricción (COF). Para el ensayo COF se utilizaron un equipo que cumplía la norma ASTM D1894⁷. d) Ensayo WVTR se utilizaron los equipos de laboratorio de Materiales y Microbiología de Alimentos de la FIMCP, siguiendo la norma ASTM E96, Método del Pouch. Procedimientos pueden ser enfrentados en previas investigaciones^{5,8}. El material principal para calcular la transferencia de vapor de agua a través de las muestras es el desecante. Para este estudio se utilizaron 2 tipos de desecantes de "Silica Gel", el primero en polvo y el segundo granulado para comparación de habilidades de cada uno. Los pouches fueron analizados a 21° C y 47.3% HR y 34-38° C y 42.75% HR, temperaturas utilizadas para simular ambientes de Quito (Uio) y Guayaquil (Gye), respectivamente.

Los datos que se toman durante el ensayo WVTR es la ganancia de peso del desecante debido a la permeación de vapor de agua a través de los Pouches a través del tiempo. La norma recomienda que el tiempo fuera de la atmósfera controlada debe ser máximo el 1% del tiempo entre medición. Para nuestro caso el tiempo necesario para realizar de mediciones fue de 30 minutos, es decir que el

intervalo entre mediciones deberá ser de al menos 3000 minutos (aproximadamente 2 días). Finalmente se grafica la curva Q (ganancia de peso) vs. t (tiempo), para obtener la pendiente Q/t. Un ejemplo de esta gráfica se muestra en la Figura 3..

La norma establece que la ecuación para el coeficiente de permeabilidad es:

$$WVTR = \frac{Q/t}{A} \quad (1)$$

Donde Q/t es el valor de la pendiente obtenida en la gráfica de peso ganado vs. tiempo, y A es el área total de transferencia de vapor de agua, para nuestro caso aproximadamente 200 cm². Finalmente se calcula un valor promedio para el valor de WVTR para los Pouches en la incubadora y se toma el valor de WVTR para el Pouch en el cuarto acondicionado.

3. Discusión y Resultados

3.1 Cálculos de la Energía de Activación

Se realizaron cálculos de la energía de activación es una propiedad intrínseca de las películas plásticas, para relacionar la tendencia que tienen la facilidad de de movimiento de las moléculas en las cadenas poliméricas con el aumento de la temperatura, Se ha determinado que la permeación del vapor de agua ocurre mayormente en los espacios libres en la zona amorfa del polímero. Entonces mientras más pequeño sea el valor de la energía de activación, el rango de variación de la permeabilidad de las películas, será menor con el cambio de temperatura.

Para el cálculo de la energía de activación se utilizó la ecuación de Arrhenius:

$$P_2 = P_1 e^{\frac{E_p}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (2)$$

Donde P es el coeficiente de permeabilidad en las condiciones 1 y 2, T son las temperaturas correspondientes a las condiciones 1 y 2, R es la constante universal de los gases y E_p es la energía de activación.

3.1.1 Cálculos de Shelf Life.

El tiempo de duración en percha del material empacado, conocido como Shelf Life es un parámetro esencial en el diseño de empaques para alimentos. Para obtener los valores de Shelf Life se

despeja el tiempo del siguiente conjunto de ecuaciones:

$$\ell = \frac{P_T t A \Delta p}{q} \quad (3)$$

$$\Delta p = \frac{p_s (HR_{out} - HR_{in})}{100} \quad (4)$$

$$q = w(m_c - m_o) \quad (5)$$

Donde L es espesor de la película plástica, P_T es el coeficiente de permeabilidad de la película, t es el tiempo de duración del alimento empacado, A es el área de transferencia de vapor de agua, ΔP es el diferencial de presión, q es el peso en gramos que debe ganar o perder el alimento empacado para concluir su vida útil, p_s es la presión de saturación de vapor de agua en las condiciones de almacenamiento del alimento, HR_{out} es la humedad relativa del ambiente fuera del empaque, o sea en la condición deseada de almacenamiento del mismo, HR_{in} es la humedad relativa promedio del interior del empaque, valor que se lo obtiene de la isoterma de adsorción; w es el peso en gramos de alimento empacado, m_c y m_o son la humedad inicial y crítica del alimento obtenidos de la Isoterma de adsorción (ver Figura 1.)

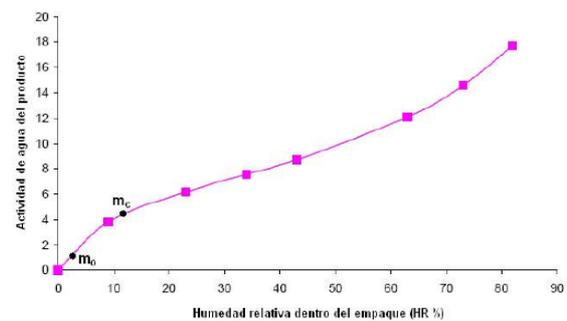


Figura 1. Isoterma de Adsorción de alimentos²

La Tabla 2 y 3 muestra los resultados obtenidos para las diferentes películas de esta investigación. Los ensayos mecánicos se realizaron en condiciones ambientales normales (23° C 50% HR), mientras los ensayos para permeabilidad se realizaron en 3 ambientes distintos (incubadora para desecante en polvo: 38° C, 42.75% HR; incubadora para desecante en granos: 34.6° C, 42.75% HR; cuarto acondicionado: 21° C, 47.3% HR). Se ha ajustado los valores multiplicándolos por un factor para poder realizar una graficación comparativa apreciable y se ha tomado el promedio de los valores de permeabilidad utilizando los dos tipos de desecantes.

En las tablas No. 2 y No 3. tambien se observan la diferencia en los valores de propiedades mecánicas para los 2 grupos de muestras (laminaciones y materia prima). El grupo de laminación de polietilenos con poliéster (L2 y L3) son las laminaciones propiedades con resistencia al impacto de menor valor, llegando en algunos casos a ser menores que las propiedades de materia prima como el BOPP y el Nylon. Una buena propiedad que tienen las laminaciones L2 y L3 son sus bajos coeficientes de fricción, cosa que no ocurre con la materia prima que alcanza altos valores de coeficientes de fricción. La resistencia a la tensión de las laminaciones L2 y L3 es de valor medio comparando con el bajo valor que tienen las películas de materia prima. La laminación L1 que incluye BOPP natural y metalizado, a pesar de ser la película de menor espesor, obtiene excelentes resultados de resistencia a la tensión e impacto, además de tener el menor coeficiente de fricción de todas las películas estudiadas.

Tabla 2. Propiedades de Películas Laminadas

PROPIEDADES DE PELÍCULAS LAMINADAS			
MATERIAL	L1	L2	L3
DARDO (gr)	850,0	309,6	508,4
COF Externo X 1000	65,53	82,83	95,00
COF Interno X 1000	62,50	70,17	62,50
RESIST. MD (kgf/cm ²)	365,00	144,44	83,33
RESIST. TD (kgf/cm ²)	677,50	164,81	80,70
ELONG. MD % X10	230,00	126,00	112,00
ELONG. TD % X 10	58,00	90,00	78,00
ESPESOR X 10	400	560	1140
P (g-μ/hr-mm Hg-cm ²) Gye X 10E7	12,90	254,08	234,14
P (g-μ/hr-mm Hg-cm ²) Uio X 10E7	14,13	287,01	244,93

En la Figura 2. se puede apreciar la diferencia de las propiedades mecánicas de las laminaciones y la materia prima. En el eje x se enumeran las propiedades en el mismo orden que están descritas en la Tabla 2. El orden de los materiales es el mismo de las Tablas 2 y 3. Se puede corroborar que las propiedades de la laminación L1 son las mejores del grupo de películas analizadas.

Tabla 3. Propiedades de Materias primas

PROPIEDADES DE MATERIAS PRIMAS			
MATERIAL	BOPP 20	BOPP 30	Nylon 25
DARDO (gr)	353,8	519,3	750,0
COF Plast/Plast X 1000	399,17	211,70	68,33
COF Met C/T X 1000	71,25	770,00	217,92
RESIST. MD (kgf/cm ²)	89,04	106,47	157,28
RESIST. TD (kgf/cm ²)	85,10	99,67	151,21
ELONG. MD % X10	220,92	320,45	86,70
ELONG. TD % X 10	237,00	340,94	94,68
ESPESOR X 10	200	300	250
P (g-μ/hr-mm Hg-cm ²) Gye X 10E7	102,31	103,57	441,58
P (g-μ/hr-mm Hg-cm ²) Uio X 10E7	88,62	90,27	1084,73

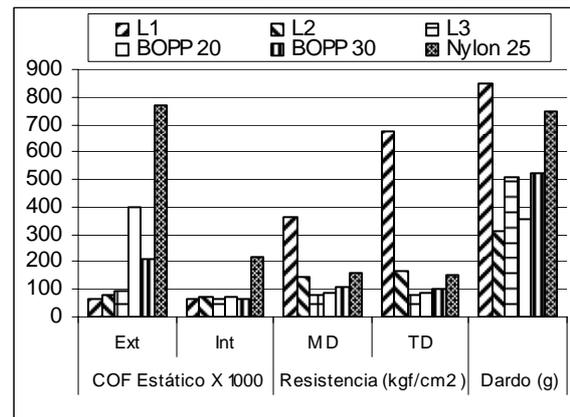


Figura 2. Propiedades Mecánicas de Películas Laminadas

En la Figura 3. se pone de ejemplo la graficación de la curva de Peso ganado por el desecante debido a la permeación de vapor de agua a través del tiempo. Esta curva nos ayuda a obtener los resultados de propiedades de barrera al vapor de agua y los cálculos de coeficientes de permeabilidad para cada película estudiada.

Se observa que el BOPP como materia prima tiene muy buena barrera a la transmisión de vapor de agua en ambos ambientes analizados. Esta propiedad mejora aún más cuando se utiliza una laminación de BOPP con un film metalizado, como es el caso de la laminación L1, que presenta valores extremadamente bajos de transmisión de vapor de agua.

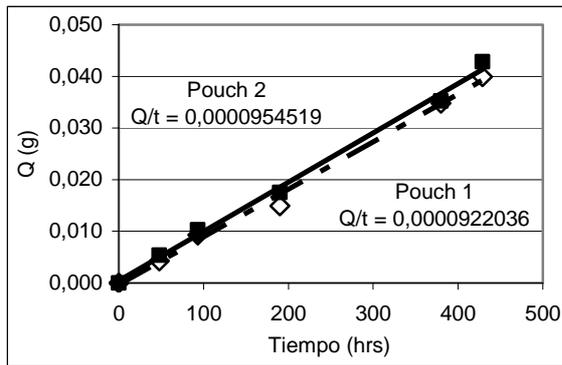


Figura 3. Curva Q/t para L1 con desecante en polvo @ 38° C y 42.75% HR.

Las laminaciones L2 y L3 siguen con la tendencia de tener propiedades ligeramente menores a la laminación L1, ya que su permeabilidad permite una transferencia de vapor de agua ligeramente mayor que la materia prima de BOPP y una transferencia de vapor de agua mucho mayor que la de L1. Como se esperaba, el Nylon tiene mala permeabilidad al vapor de agua, permite una transferencia de vapor de agua hasta 15 veces mayor que la de la laminación L1

Una vez obtenidos los valores de permeabilidad de todas las películas se procede al cálculo de la Energía de activación y la estimación de la vida en percha (Shelf Life) para alimentos empacados dentro de cada película. En la Figura 4. se observa la variación de la permeabilidad cuando cambia la temperatura para el caso de la laminación L1. En nuestro estudio se utilizó un medio en el que a medida que aumentaba la temperatura, disminuía humedad relativa en el ambiente, por lo podemos ver como disminuye la permeabilidad a medida que aumenta la temperatura.

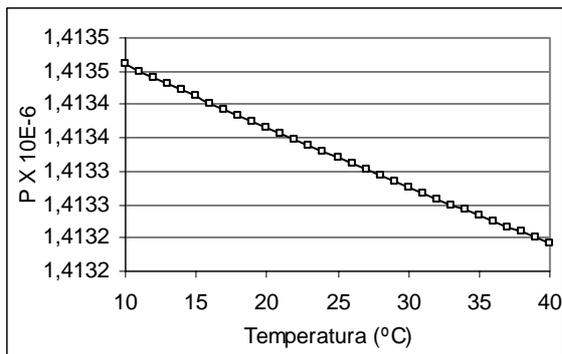


Figura 4. Variación de la Permeabilidad con la Temperatura de la Películas Laminada L1

Al tener una iteración de la permeabilidad para diversos valores de temperatura, se puede analizar como varía la vida útil de un alimento establecido para distintas condiciones atmosféricas. El estudio

analiza 4 productos: Cereal de trigo, Galletas y Papas chips. Los resultados para todos los alimentos siguen la misma tendencia, ya que el cálculo de Shelf Life utiliza dimensiones y permeabilidades del material de empaque, además de las propiedades del alimento, siendo la permeabilidad el único parámetro que cambia.

En la Figura 5. podemos apreciar como varía la Shelf Life (en días) del Cereal de Trigo en distintos ambientes, temperaturas y empaçado en distintos materiales. En esta figura se graficaron todos los valores reales de Shelf Life excepto para la laminación L1, a la que se dividió para 10 debido a que su valor es tan alto que no permite apreciar la variación del resto de películas analizadas. Se puede apreciar que la vida útil del alimento es mucho más larga utilizando un empaque de laminación L1, siendo esta la laminación de menor espesor. La Shelf Life es un parámetro que debe ser analizado por el productor del alimento, dependiendo del tiempo que este desee que su producto se encuentre en percha. Por eso el productor debe analizar el precio vs. durabilidad de su empaque para escoger el material más adecuado.

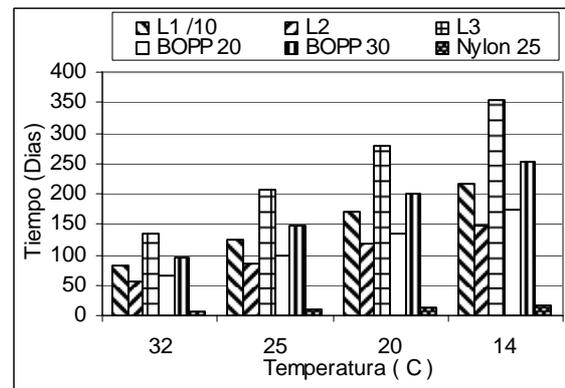


Figura 5. Shelf Life para Cereal de Trigo empacado en Películas Laminadas

La segunda parte del estudio consta de un análisis comparativo entre películas laminadas y coextruidas. En la Tabla 4 se encuentran los nombres y composiciones de las películas analizadas en la tesis del Ing. Xavier Alarcón. En la Tabla 5 se detallan los valores de las propiedades comunes analizadas, tanto en el estudio de coextrusión y laminación, para las 5 películas coextruidas nombradas anteriormente en la Tabla 4..

Tabla 4. Composición de películas plásticas coextruidas

COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS COEXTRUIDAS			
Nombre	Producto Empacado	Comp.	Espesor
C1	Leche	60.42% LDPE + 32.44% LLDPE + 7.14% C. BLANCO	730
C2	Agua	43.33% LDPE + 16.67% HDPE + 40% mLLDPE	1100
C3	Aceite	67% LDPE + 28.7% LLDPE + 3.64% C. BLANCO + 0.65% C. AMARILLO	1080
C4	Manteca	67.26% LDPE + 29.17% LLDPE + 3.57% C. BLANCO	750
C5	Sal	53.33% LDPE + 46.67% LLDPE	530

En la Figura 6. muestra un resumen de las propiedades mecánicas y las propiedades de barrera al vapor de agua de los metalizados estudiados y los coextruidos previamente estudiados⁴

Tabla 5. Propiedades de Películas Coextruidas

PROPIEDADES DE PELÍCULAS COEXTRUIDAS					
MATERIAL	C1	C2	C3	C4	C5
DARDO (gr)	613,4	1035,1	875,0	631,1	130,8
RESIST. MD (kgf/cm2)	246,0	287,0	256,1	263,3	243,9
RESIST. TD (kgf/cm2)	266,3	314,1	296,7	292,0	221,7
ELONG. MD % X10	570,2	679,4	685,1	608,1	543,8
ELONG. TD % X 10	893,6	1014,4	812,9	916,9	695,3
ESPESOR X 10	730,0	1100,0	1080,0	750,0	530,0
P (g-μ/hr-mm Hg-cm2) Uio X 10E7	212,0	197,0	223,0	150,0	555,0

En la Figura 6. se muestra que la resistencia al impacto de las películas coextruidas alcanzan valores mayores de propiedades mecánicas (TD y MD) excepto en el caso de la laminación L1, la misma que no falló durante el ensayo con una carga máxima de 850 gramos. Cabe recalcar que la materia prima como el Nylon y el BOPP 30, alcanzan valores relativamente aceptables, tomando en cuenta que son películas de espesor mucho menor a las películas coextruidas. La película Nylon 25 alcanzo los mayores valores de permeabilidades al agua (>1200),

siendo una película resistente pero pobre para permeabilidad al vapor de agua

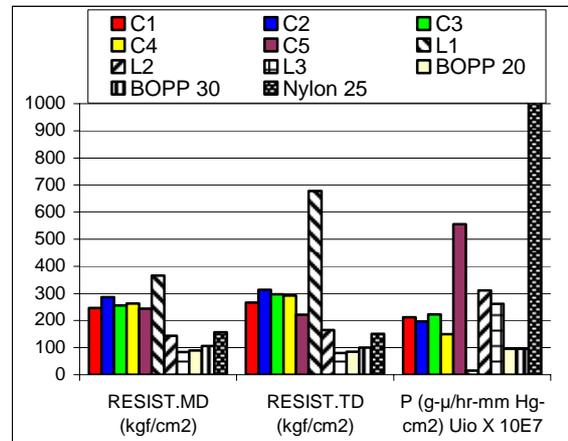


Figura 6. Comparación de Propiedades Mecánicas y Permeabilidad (20) entre Películas procesadas con Laminación, Coextrusión y Materia Prima

La resistencia a la tensión es una propiedad muy variable en todos los materiales analizados. Las laminaciones L1 y L2 alcanzan valores mayores en el ensayo en dirección de la máquina, mientras que la materia prima y la laminación L3 alcanza valores mayores en dirección transversal a la máquina. En el caso de películas coextruidas, se comportan de la misma manera que las laminaciones L1 y L2 exceptuando la coextrusión C5. En lo que respecta a valores, la laminación presenta valores mucho mayores que el resto de películas, las películas coextruidas presentan un valor intermedio, el Nylon y la laminación L2 alcanzan valores ligeramente menores, mientras el BOPP como materia prima y la laminación L3 presentan la menor resistencia en ambas direcciones.

Los coeficientes de permeabilidad mientras menores sean, indican mejor barrera al vapor de agua. Se puede apreciar significativamente que el valor de permeabilidad de la laminación L1 es nulo comparado con el resto. La permeabilidad de la materia prima de BOPP obtiene valores bajos también. Los valores de permeabilidad de las películas coextruidas se mantienen en un valor intermedio a excepción de la laminación C5, que tiene el mayor coeficiente de películas multicapa. Las películas laminadas L2 y L3 tienen un coeficiente de permeabilidad un poco mayor al promedio de las películas coextruidas. Finalmente el Nylon presenta la mayor permeabilidad de todos los materiales estudiados.

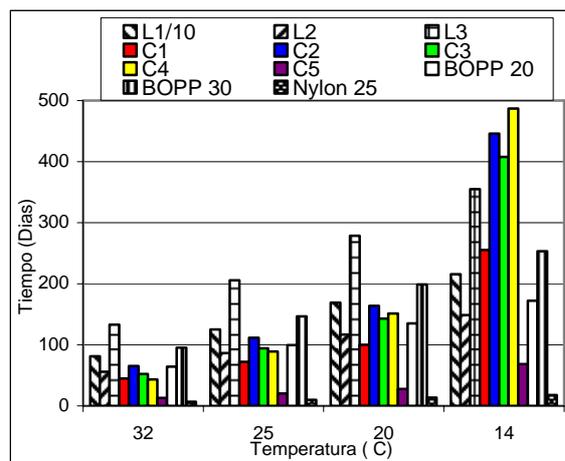


Figura 7. Comparación de Shelf Life para Cereal de Trigo empacado en Películas procesadas con Laminación y Coextrusión para Temperaturas de Guayaquil y Quito

La vida útil de los alimentos sigue siendo de mucho mayor tiempo para la laminación L1, que en la Figura 7., se representa la décima parte de su valor para poder apreciar mejor los valores de las películas restantes. La película laminada L3 y coextruidas C2, C3 y C4 presentan valores de vida útil altos, mientras la laminación L2 y la materia prima de BOPP tienen valores intermedios de vida útil para almacenar alimentos. La película coextruida C5 junto con el Nylon tienen la menor vida útil para productos alimenticios de todas las muestras analizadas. Es importante consideración la relación que existen entre el procesamiento y el rendimiento de las películas coextruidas y laminadas. Estos efectos fueron previamente estudiados en el caso de coextruidos⁴ y ha sido ampliamente explicado en la literatura referencial⁹⁻¹²

4. Conclusiones

Las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua nos permiten establecer un diseño básico para establecer durabilidad de alimentos en diferentes ambientes en empaques flexibles. La selección de un material adecuado para empacar alimento no sólo depende de los requerimientos del mismo, sino también de las condiciones de almacenamiento y transporte. Se puede escoger materiales que cumplan con los requisitos mínimos para reducir costos o tiempos de duración antes del consumo no necesite tiempos largos en perchas. La laminación de BOPP que incluye metalizados tiene las mejores propiedades tanto mecánicas como de barrera a un espesor delgado. Los empaques laminados proveen similares propiedades que películas coextruidas a menores espesores aunque con mayores costos de materia prima. Los ensayos ejecutados en esta investigación pueden ser tomados como referencias

para establecer un consumo óptimo de materiales plásticos y una durabilidad de alimentos en empaques.

5. Agradecimientos

Se agradece la colaboración y asesoramiento del Ing. Ángel Guevara de QUIMIPAC. A la compañía PLASLIT y al Ing. Leonardo Jaramillo por facilitarnos las películas laminadas y el laboratorio para ensayos mecánicos. A la compañía EXPOLPLAST por facilitarnos sus laboratorios y a la Asociación Ecuatoriana de Plásticos (ASEPLAS) por su apoyo decidido en la consecución de este proyecto.

6. Nomenclatura

BOPP : Polipropileno bioorientado
 BOPP Met.: Polipropileno bioorientado metalizado
 PET: Polietileno tereftalato
 PE : Polietileno
 LDPE: Polietileno de baja densidad
 LLDPE: Polietileno lineal de baja densidad
 mLLDPE: Polietileno lineal de baja densidad metalocénico

7. Referencias

- [1] Brody, A. Predicting package food Shelf Life. *Food Technology*, 57 (4) 100-102, 2003
- [2] Rahman, M y Labuza, T. Water activity and Food Preservation. In *Handbook of Food Preservation* Ed Rahman, Marcel Dekker, New York, 1999
- [3] Selke, Susan, Culter John, and Hernandez, Ruben. *Plastics Packaging: Properties, Applications and Regulations*. Hanser, Munich, 2004.
- [4] ALARCÓN SALAS, XAVIER. "Estudio de la Relación entre la Estructura, Procesamiento, Propiedades Mecánicas y Transferencia de Vapor de Agua en Películas Multicapa de Polietileno utilizadas en Empaques Alimenticios" (Tesis FIMCP - ESPOL, 2005).
- [5] ASTM Standard Test Method for Tensile Test of thin plastics. ASTM Standard Method: ASTM D 882.
- [6] ASTM Standard Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method. ASTM Standard Method: D 1709.

-
- [7] ASTM Standard Test Methods for Coefficient of Friction. ASTM Standard Method D 1894.
 - [8] ASTM Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM Standard Method E96.
 - [9] Elkoun, S.; Huneault M; McCormick K, Puterbaugh F, y Kale . Effects of processing parameters on properties of LLDPE based mono- and multilayered blow film. SPE ANTEC 2003, 1381-.
 - [10] Tood W.G. Variable that Affect/Control High-Density Polyethylene film Oxygen-Moisture Barrier. Journal of Plastic Film & Sheeting, 19, 209-200, 2003
 - [11] Taylor J, Baik J. Benefits of Coextruded LLDPE/LDPE film vs. Blended LLDPE/LDPE Film. Journal of Plastics Film & Sheeting, 16, 223-236, 2000
 - [12] Rubino M, Tung M, Yada S, Britt I, Permeation of Oxygen, Water Vapor and Limone trough printed and unprinted Biaxially BOPP films. Journal of Agriculture Food Chemistry, 49, 3041-3045, 2001