ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA TRANSFERENCIA DE VAPOR DE AGUA, CONDICIONES AMBIENTALES Y SHELF LIFE, EN PELÍCULAS MULTICAPA DE POLIETILENO UTILIZADAS EN EMPAQUES ALIMENTICIOS

Xavier Alarcón Salas[1], Andrés Rigaíl Cedeño[2]

[1]Ingeniero Mecánico 2005.
[2]Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1997. MSc in Polymer Science, Universidad de Connecticut - Storrs, CT-USA, 2003. Profesor ESPOL desde 2003.

RESUMEN

El presente trabajo trata del análisis entre la permeabilidad del agua, su variación con las condiciones climáticas, y su influencia en el tiempo de duración en percha de empaques alimenticios, fabricados de películas multicapa de polietileno.

El objetivo general es determinar como varía exactamente la permeabilidad con la temperatura, y observar la variación del shelf life de los empaques plásticos alimenticios, tomando en cuenta la variación de temperaturas y humedades, para Quito y Guayaquil.

Se procedió a visitar algunas industrias para tomar 5 muestras de películas multicapa, para posteriormente realizar ensayos de transmisión de vapor de agua (WVTR), y realizar el análisis de barrera al vapor de agua, para conocer cómo varía la permeabilidad con la temperatura, y su influencia en la variación del tiempo de vida en percha de los alimentos. Luego se plantean conclusiones de este comportamiento y recomendaciones a seguir para el almacenamiento de productos a diferentes climas.

ABSTRACT

This paper presents an analysis for water permeability, its changes with surrounding conditions, and its influence on shelf life of PE multilayer packings.

The general objective is to determine how the permeability varies with temperature, and show the variation of shelf life in plastic packings, related to the variation of temperatures and humidities, for Quito and Guayaquil.

Several industries were visited, in order to take 5 samples of PE multilayer films, subsequently, we tested the water vapor transmission rate (WVTR), and we did the analysis of barrier, to know how the permeability varies with temperature, and

their influence on the variation of shelf life for foods. Then we get conclusions of this behavior and recommendations to follow for food storage to different climates.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se desarrolla en base a una inquietud que surgió en los miembros de ASEPLAS, ya que algunas de dichas empresas que producen películas para empaques, han tenidos problemas con las empresas alimenticias, debido a que su producto se deteriora antes de la fecha de caducidad, al almacenarlo en ciudades diferentes. En la actualidad, las industrias plásticas procesan películas multicapa de forma empírica, sin un diseño de empaque y sin tomar en cuenta temperaturas y humedades, es decir condiciones ambientales severas que hacen perder calidad al alimento empacado, complicándose el problema ya que Ecuador es un país con diversidad de climas y regiones.

Con este estudio, conociendo científicamente el correcto requerimiento de barrera al vapor de agua del empaque, se espera optimizar al máximo los beneficios que las películas multicapa pueden brindar a sus fabricantes, y para el comprador y/o consumidor aumentar la confiabilidad en la calidad del empaque de su alimento.

Formulación de las muestras de Películas Multicapa a analizar:

En las tablas a continuación, se muestran las formulaciones para cada capa de las 5 películas, las cuales denominaremos con letras mayúsculas (A, B, C, D, E) para su diferenciación:

TABLA 1

FORMULACION DE LA MULTICAPA A

RESINA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
% LDPE - Hyundai 110	50	90.91	60.13
% LLDPE - Dowlex 2101	50	0	36.08
COLORANTE BLANCO	0	9.09	1.83
COLORANTE AMARILLO	0	0	1.96
% TOTAL	100	100	100

TABLA 2

FORMULACION DE LA MULTICAPA B

RESINA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
% LDPE - Hyundai 110	50	89.29	62.5
% LLDPE - Dowlex 2101	50	0	37.5
COLORANTE BLANCO	0	10.71	0
% TOTAL	100	100	100

TABLA 3

FORMULACION DE LA MULTICAPA C

RESINA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
% LDPE - Hyundai 110	25	89.29	66.96
% LLDPE - Dowlex 2101	75	0	22.33
COLORANTE BLANCO	0	10.71	10.71
% TOTAL	100	100	100

TABLA 4

FORMULACION DE LA MULTICAPA D

RESINA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
% LDPE - Hyundai 110	40	50	40
% HDPE - Hivorex 7000F	0	50	0
% METALOCENO	60	0	60
% TOTAL	100	100	100

TABLA 5

FORMULACION DE LA MULTICAPA E

RESINA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
% LDPE - Dowlex 2085	80	0	80
% LDPE - Petrothene 143	20	100	20
% TOTAL	100	100	100

Todas estas 5 películas presentan mezclas de LDPE y LLDPE, a excepción de la tricapa D, que adicionalmente posee HDPE y metaloceno en su composición.

Coeficientes de Permeabilidad

Se procedió a determinar la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR), para las 5 películas, para posteriormente conocer el coeficiente de permeabilidad, a dos condiciones ambientales distintas: 31.67°C, 75.67%HR (Guayaquil) y 21°C, 47.83%HR (Quito). Para esto se utilizaron pouches (empaques pequeños) de las 5 películas, los cuales se pueden observar en la figura 1:

FIGURA 1. POUCHES MULTICAPA

A continuación se observa a manera de ejemplo, el procedimiento de obtención de WVTR para la película A, a Condiciones de Guayaquil (31.67°C y 75.67% HR):

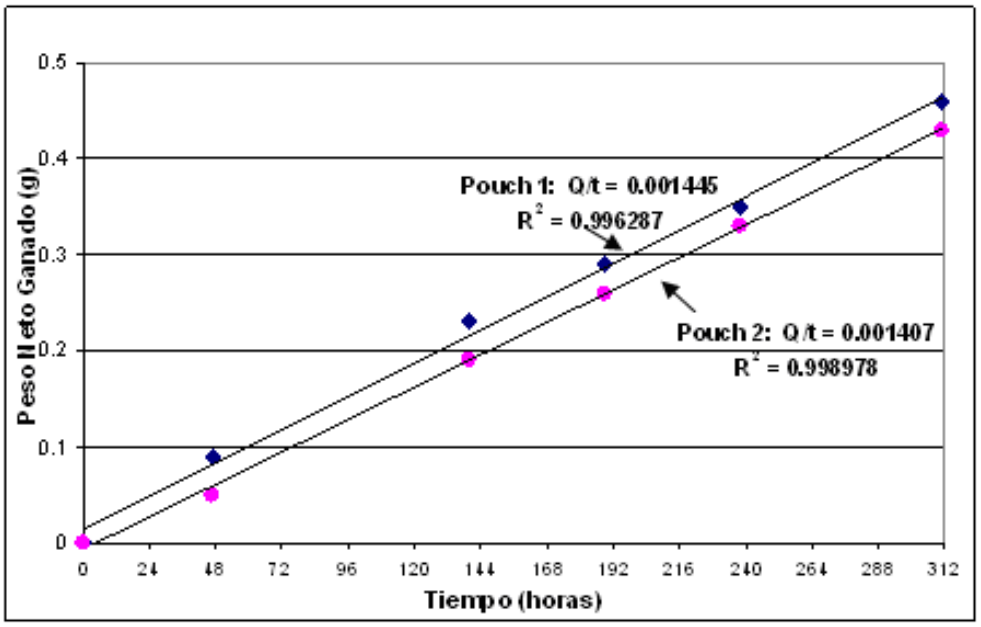

FIGURA 2. WVTR DE POUCH A PARA GUAYAQUIL

TABLA 6		
Coeficiente de permeabilidad al H_2O del film tricapa A		
a Condiciones de Guayaquil (31.67 °C y 75.67 % HR)		
	Pouch 1	Pouch 2
Area del pouch (cm^2)	205.92	198
Espesor en micras (µ)	108	108
Q/t (g/hr)	0.001445	0.001407
WVTR (g/h-cm^2)	7.017288E-06	7.10606E-06
?p (mm Hg)	27.00170445	27.00170445
Permeancia (g/hr-mm Hg-cm^2)	2.598832E-07	2.631708E-07
Coef.Permeabilidad, P (g-µ/hr-mm Hg-cm^2)	2.806738E-05	2.842245E-05
P promedio (g-µ/hr-mm Hg-cm^2)	2.82449E-05	

De esta misma manera, se halló el WVTR y coeficiente de permeabilidad (P), para las demás películas, y los resultados en varias unidades se aprecian en la tabla 7:

TABLA 7				
VALORES DE P, PARA LAS PELICULAS TRICAPA EN ESTUDIO				
COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD, P				
31.67°C, 75.67%HR	g-µ/hr-mm Hg-cm^2	g-mil/100 in^2-d-mm Hg	g/Pa-s-m	1Perm inch
A	2.82E-05	1.72E-06	5.89E-13	0.000405
B	2.36E-05	1.44E-06	4.91E-13	0.000338
C	2.24E-05	1.36E-06	4.66E-13	0.000321
D	2.32E-05	1.42E-06	4.84E-13	0.000333
E	5.62E-05	3.42E-06	1.17E-12	0.000805
21°C, 47.83%HR	g-µ/hr-mm Hg-cm^2	g-mil/100 in^2-d-mm Hg	g/Pa-s-m	1Perm inch
A	2.23E-05	1.36E-06	4.64E-13	0.000319
B	1.50E-05	9.15E-07	3.13E-13	0.000215
C	2.12E-05	1.29E-06	4.42E-13	0.000304
D	1.97E-05	1.20E-06	4.1E-13	0.000282
E	5.55E-05	3.39E-06	1.16E-12	0.000796

Análisis de Variación de la Permeabilidad con el Cambio de Temperatura.

Se utilizó el modelo de la ecuación de Arrhenius, ya que las películas plásticas se rigen al mismo:

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

En nuestro caso, como tenemos las permeabilidades de las películas en estudio, para 2 temperaturas: 21°C (294.15°K) y 31.67°C (304.82°K), y la constante universal de gases, R = 8.314 Joule/mol°K, obtenemos la energía de activación (E_p) de las películas, la cual nos indica la tendencia al movimiento que obtienen las cadenas poliméricas con el aumento de la temperatura, facilitando la permeación del vapor de agua. Los resultados se muestran en la tabla 8:

TABLA 8

ENERGIA DE ACTIVACION (E_P) DE LAS PELÍCULAS

	g-µ/hr-mm Hg-cm^2		° Kelvin		**kJ/mol**
PELICULA	P1	P2	T1	T2	**E_p**
A	2.23E-05	2.82E-05	294	304.67	**16.38329**
B	1.50E-05	2.36E-05	294	304.67	**31.63073**
C	2.12E-05	2.24E-05	294	304 .67	**3.84288**
D	1.97E-05	2.32E-05	294	304.67	**11.41379**
E	5.55E-05	5.62E-05	294	304.67	**0.87479**

En las figuras 3, 4, 5, 6 y 7, mediante el uso de la energía de activación, se puede apreciar el comportamiento del coeficiente de permeabilidad en función de la temperatura en el rango de 10°C a 40°C, que es el rango de temperaturas de las ciudades de nuestro país, para las 5 películas:

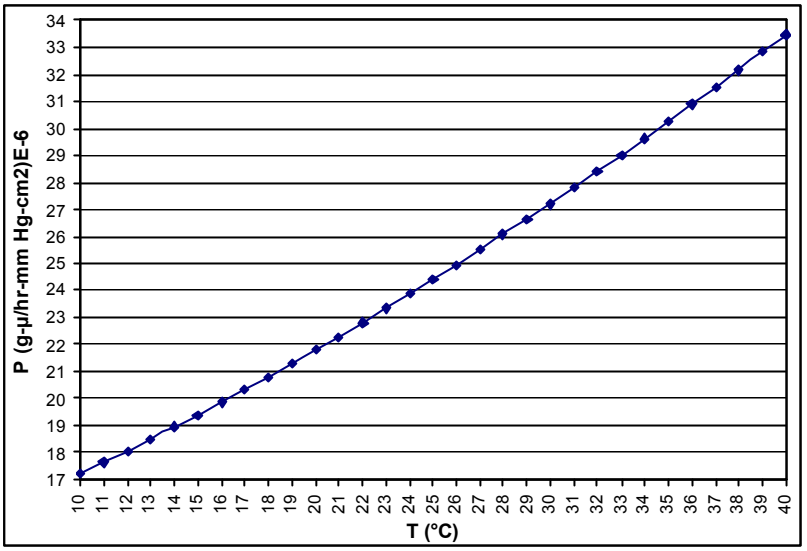

FIGURA 3. PERMEABILIDAD VS. TEMPERATURA DE TRICAPA A

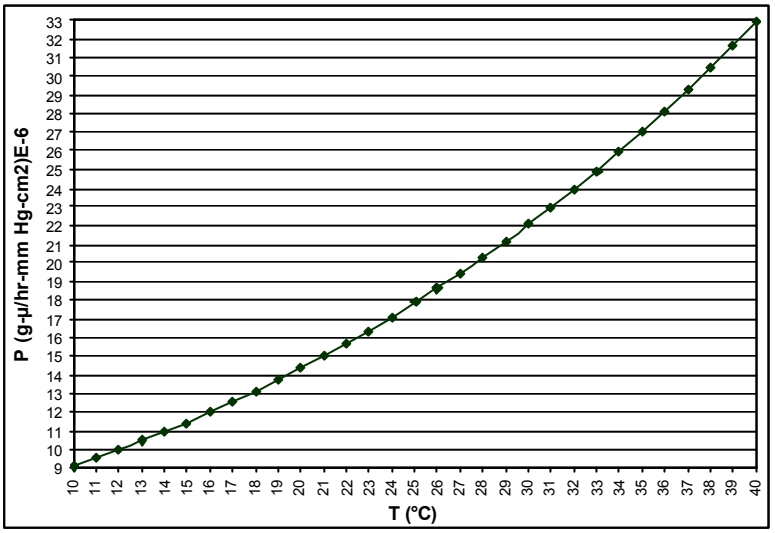

FIGURA 4. PERMEABILIDAD VS. TEMPERATURA DE TRICAPA B

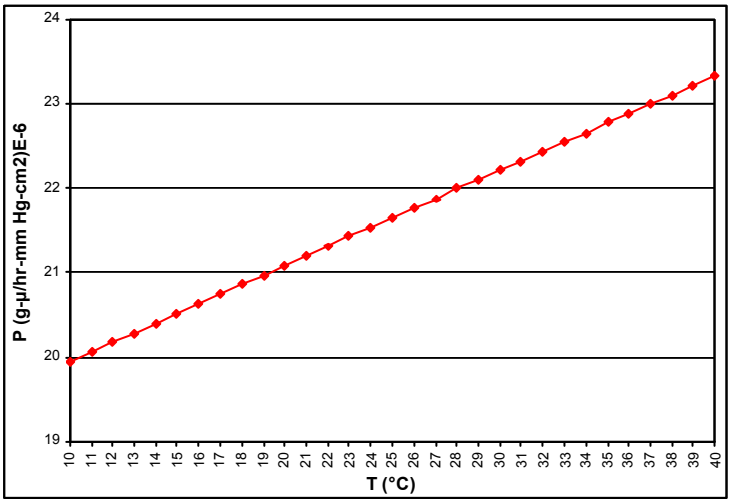

FIGURA 5. PERMEABILIDAD VS. TEMPERATURA DE TRICAPA C

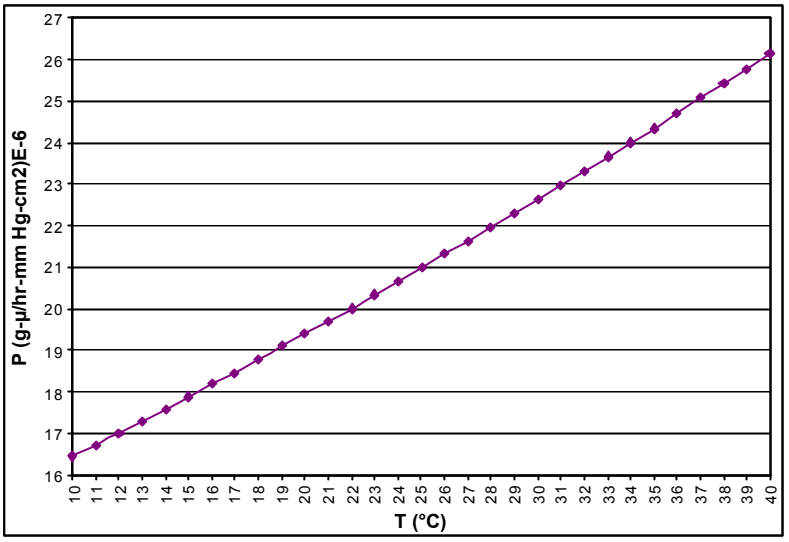

FIGURA 6. PERMEABILIDAD VS. TEMPERATURA DE TRICAPA D

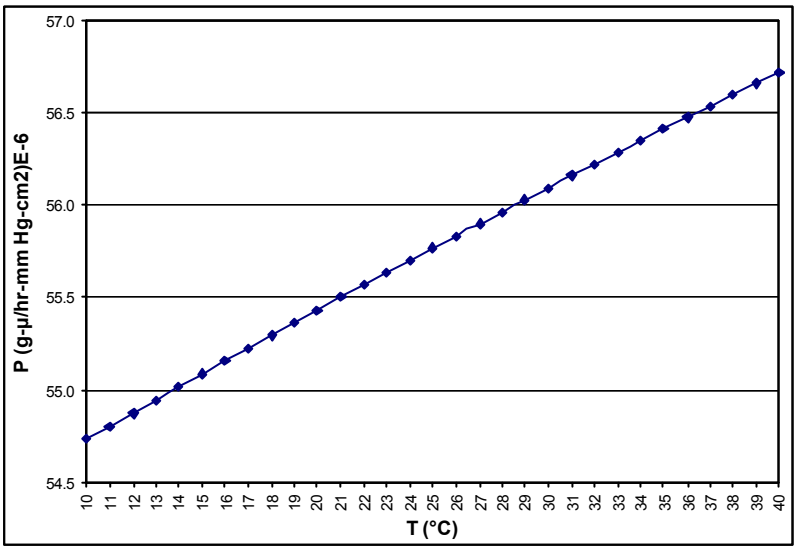

FIGURA 7. PERMEABILIDAD VS. TEMPERATURA DE TRICAPA E

Como se puede apreciar en las gráficas, al ir en el rango de 10°C a 40°C, la tricapa A aumento su coeficiente de permabilidad (P) en un 97%, la tricapa B en un 267%, la tricapa C un 17%, la tricapa D un 59.8% y la tricapa E un 3.7%. Esto seguramente se verá reflejado en una disminución del Shelf Life del producto, pero la magnitud de este cambio se lo observará a continuación.

Para esto se utilizaron empaques de 25 g, de 5 cm x 10 cm, para galletas y papas chips, y se calculó el Shelf Life de empaques utilizando todas las películas en estudio (A, B, C, D y E), y los resultados se aprecian en las tablas 9 y 10:

TABLA 9						
SHELF LIFE PARA GALLETAS, EN DIAS						
	Guayaquil (80 % HR)			Quito (50 % HR)		
EMPAQUE	32°C	25°C	20°C	23°C	18°C	14°C
A	69.1	124.6	189.0	326.0	499.2	699.4
B	57.0	117.3	200.1	323.0	546.3	834.5
C	59.3	95.2	132.0	240.9	337.4	438.0
D	86.1	147.5	216.3	382.7	562.6	764.9
E	17.2	26.7	36.5	67.3	92.1	117.8

TABLA 10						
SHELF LIFE PARA PAPAS CHIPS EN DIAS						
	Guayaquil (80 % HR)			Quito (50 % HR)		
EMPAQUE	32°C	25°C	20°C	23°C	18°C	14°C
A	66.6	120.0	181.9	310.4	475.3	665.8
B	54.9	112.9	192.6	307.5	520.1	794.4
C	57.1	91.6	127.1	229.4	321.2	416.9
D	82.9	142.0	208.2	364.4	535.6	728.2
E	16.6	25.7	35.1	64.1	87.7	112.2

Como se puede observar existe una gran diferencia en el tiempo de almacenamiento (Shelf Life), para ambas ciudades. Para un mismo producto que va a ser almacenado en Guayaquil el shelf life se redujo a valores que van de 3 a 12 veces menor, en relación al tiempo que duraría nuestro producto en Quito.

Conclusiones

Las películas multicapa que tienen un bajo valor de energía de activación, tienen un coeficiente de permeabilidad que varía menos con la temperatura, y por lo tanto un shelf life más estable.

Este fenómeno de aumento de la permeabilidad debido al incremento de temperatura, se debe al aumento en la movilidad de las cadenas poliméricas, lo que se traduce en una reiterativa creación y movilización de los espacios libres en la región amorfa del polímero semicristalino, donde ocurre casi el 99% de la permeación de las moléculas de vapor de agua.

La película D, como se aprecia en la tabla 4, es la única que posee HDPE y metaloceno en su composición, dos polímeros lineales que le brindan mayor propiedad de barrera a la película, debido a las bondades que brindan sus estructuras, es por eso que con esta película, como se observa en las últimas 2 tablas, se pueden lograr tiempos de almacenamiento mayores.

Se debe tener mucha precaución, en la utilización de la correcta película multicapa, con el respectivo coeficiente de permeabilidad al vapor de agua para una ciudad determinada (condiciones climáticas), ya que un mal uso le implica pérdidas económicas a la industria, y a las personas el riesgo de ingerir productos en mal estado, deteriorando y perjudicando así su salud.

Bibliografía

1. X. Alarcón, "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, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005).
2. S. Selke, Plastics Packaging (2da. Edición, Munich, Hanser Publishers, 2004), pp 333-370
3. T. Kanai, Film Processing (1ra. Edición, Munich, Hanser Publishers, 1999), pp 155-178
4. P. Noriega, Design of Plastic Multilayer Structure that Fit the Requeriments of a Especific Food or Beverage (Medellín, ICIPC, 2003)

_____ _____

Ing. Andrés Rigaíl C.
DIRECTOR DE TESIS

Xavier Alarcón Salas