

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Análisis de los requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica

Proyecto de graduación sometido a la consideración de la
Escuela de Ingeniería Química
Como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Juliana Da Luz Castro

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

2015

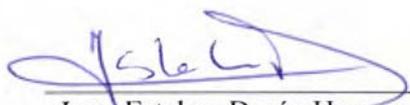
TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Sustentante:

Juliana Da Luz Castro

Aprobado por:



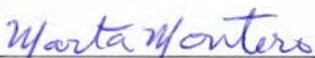
Ing. Esteban Durán Herrera, Ph.D.
Profesor Catedrático
Escuela de Ingeniería Química

Presidente del Tribunal



Ing. Maureen Córdoba Pérez
Profesora
Escuela de Ingeniería Química

Directora del proyecto



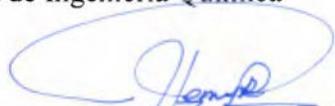
Ing. Marta Montero Calderón, Ph.D.
Profesora Catedrática
Centro de Investigaciones Agronómicas

Lectora del proyecto



Lic. Natalia Hernández Montero, Ph.D.
Profesora
Escuela de Ingeniería Química

Lectora del proyecto



Ing. Jenny Calderón Castro
Profesora
Escuela de Ingeniería Química

Miembro Invitado

EPÍGRAFE

“Todos somos genios, pero si juzgas a un pez por su habilidad de trepar a los árboles, vivirá toda su vida pensando que es un inútil.”

Albert Einstein

DEDICATORIA

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por ser mi guía en todo lo que hago. A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento. A Andrés y su familia por todo el apoyo y la ayuda cuando más la necesité. A los entrevistados por su tiempo y cooperación. A doña Marta y Maureen por sus correcciones y sugerencias. A Natalia por su apoyo y comprensión. A don Manuel por sus consejos y toda la ayuda en el proyecto. A mis amigos por hacer más agradable el proceso de aprendizaje. A los profesores por su ayuda y por todo lo que me enseñaron. Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma estuvieron presentes durante esta etapa de mi vida.

RESUMEN

El principal objetivo del proyecto fue analizar la oferta, requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica. A partir de este trabajo se pretenden comparar las capacidades de los polímeros de empaque con el uso que reciben en la industria.

Primeramente se realizó una amplia investigación bibliográfica de las propiedades de los polímeros de uso común en el empaque de alimentos. Estos son: polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliamidas (PA), específicamente nylon 6, alcohol etilenvinílico (EVOH), poliuretano (PU) y celofán.

Se generó un instrumento para la recopilación de información con el propósito de obtener información primaria acerca de la selección de empaques y problemas específicos en la industria. Este fue aplicado en dos empresas representativas de cada uno de los siguientes sectores de la industria de alimentos: industria de elaboración de bebidas no alcohólicas, industria de elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal, industria de elaboración de productos lácteos, industria de procesamiento y conservación de frutas y hortalizas, industria de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería e industria de elaboración de productos de panificación y en una empresa del sector de procesamiento y conservación de carnes.

Entre la información obtenida de las entrevistas destaca que en el sector de frutas y hortalizas, se utilizan bolsas de LDPE con atmósfera modificada y bandejas de PP para el empaque de ensaladas y lechugas precortadas, bolsas laminadas (doypack®) y bandejas de PET para frutas precortadas, bandejas de PS con film de PVC para frutas y verduras enteras y bolsas cryovac® para el empaque de vegetales precortados al vacío. En el caso del sector de producción y empaque de chocolates, se utilizan bolsas de LDPE y doypack® para productos utilizados como materia prima y celofán y PP metalizado para tabletas y chocolates pequeños. Con respecto al sector de procesamiento y conservación de embutidos, se utilizan varios laminados multicapa con nylon, EVOH, poliéster, PE y PA que el proveedor recomienda según los requerimientos del producto. Para el sector de bebidas no alcohólicas sin carbonatación, se usan envases de PET con tapas rosca de HDPE y envases de HDPE con tapa presión de LDPE. En el sector de producción y envasado de aceite líquido se utilizan envases de PET y envases de HDPE. Para el caso del sector de producción y empaque de grasas sólidas, se utilizan empaques de PP y HDPE. En el caso del sector de elaboración de lácteos, se utiliza HDPE para leche en galones, yogurt líquido, helados y volúmenes grandes de natilla, PS para el yogurt, la mantequilla, la natilla, el queso crema, el queso cottage y los helados pequeños y utilizan una serie de empaque laminados multicapa. Para la industria de panificación y galletería, se utilizan bolsas de PP en monocapa y multicapa y bandejas de PET y PS.

Una vez analizada la información recopilada, se comparó con la información obtenida de la bibliografía, de donde se establece que en cada uno de los sectores estudiados utilizan materiales recomendados. Además, muchos de los empaques usados son laminados multicapa,

los cuales se comportan de manera satisfactoria ya que se diseña la combinación de capas según las propiedades que requiere el alimento empacado.

Se encontró que según los entrevistados, el criterio de selección de empaques de mayor importancia es la protección del alimento, seguido por los costos y en tercer lugar se encuentra la contaminación ambiental que genera.

Se recomienda realizar visitas en empresas de otros sectores para ampliar y cuantificar la información de los empaques poliméricos utilizados en el país.

INDICE GENERAL

	Página
TRIBUNAL EXAMINADOR.....	i
EPÍGRAFE.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA EN COSTA RICA.....	3
2.1 Perfil de la Industria Costarricense.....	3
2.2 Industria Alimentaria.....	5
2.3 Industria Plástica.....	9
CAPÍTULO 3: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	13
3.1 Físicas.....	13
3.2 Químicas.....	15
3.3 Térmicas.....	15
3.4 Mecánicas.....	16
3.5 Eléctricas.....	19
CAPÍTULO 4: POLÍMEROS.....	21
4.1 Generalidades.....	21
4.2 Polímeros de uso común en la industria de alimentos y sus propiedades.....	21
4.2.1 Polietileno Tereftalato (PET).....	21
4.2.2 Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	22
4.2.3 Polietileno de Baja Densidad (LDPE).....	25
4.2.4 Policloruro de Vinilo (PVC).....	26
4.2.5 Polipropileno (PP).....	26
4.2.6 Poliestireno (PS).....	27
4.2.7 Poliamida (PA).....	28
4.2.8 Alcohol Etilenvinílico (EVOH).....	28
4.2.9 Poliuretano (PU).....	29
4.2.10 Celofán.....	29
4.3 Impacto Ambiental.....	30
4.4 Empaques poliméricos en Costa Rica.....	32
4.4.1 Oferta.....	32
4.5 Criterios de Selección de Empaques.....	38
4.5.1 Apariencia del empaque:.....	38
4.5.2 Interacción empaque-producto:.....	39
4.5.3 Interacción empaque-ambiente:.....	41
4.5.4 Vida útil del producto:.....	42
4.5.5 Requerimientos de mercado:.....	42
4.5.6 Transporte y distribución comercial:.....	42
4.5.7 Costos:.....	42

	Página
4.5.8. Disponibilidad:	43
4.5.9. Posible reutilización, reciclaje e impacto ambiental:	43
4.6. Normas y Legislación.....	43
CAPÍTULO 5: EMPAQUE DE ALIMENTOS	47
5.1. Empaque para productos agrícolas mínimamente procesados	47
5.2. Empaque para chocolates	51
5.3. Empaque para embutidos	52
5.4. Empaque para jugos de frutas.....	53
5.5. Empaque para aceites y margarinas	54
5.6. Empaque para productos lácteos	56
5.7. Empaque de galletas.....	57
CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA	59
6.1. Documentación de propiedades y características de empaques poliméricos.....	59
6.2. Definición de áreas de aplicación.....	59
6.3. Visitas a supermercados: selección de empresas y productos	60
6.4. Elaboración de instrumento.....	61
6.5. Ajuste de instrumento.....	61
6.6. Aplicación del instrumento en empresas seleccionadas (entrevistas)	63
6.7. Análisis de resultados	63
CAPÍTULO 7: RESULTADOS	65
7.1. Industria de procesamiento y conservación de frutas y hortalizas	65
7.2. Industria de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería.....	70
7.3. Industria de procesamiento y conservación de carnes.....	74
7.4. Industria de elaboración de bebidas no alcohólicas.....	77
7.5. Industria de elaboración de aceites y grasas de origen vegetal	80
7.6. Industria de elaboración de productos lácteos.....	84
7.7. Industria de elaboración de productos de panificación	91
7.8. Otros Factores Relevantes	94
CAPÍTULO 8: NUEVAS TENDENCIAS EN EMPAQUES POLIMÉRICOS PARA ALIMENTOS	101
8.1. Biopolímeros y polímeros biodegradables	101
8.2. Películas comestibles.....	103
8.3. Coberturas biopoliméricas en empaques de papel.....	105
8.4. Empaques activos.....	106
8.4.1. Polímeros antimicrobianos	106
8.4.2. Polímeros antioxidantes	107
8.5. Empaques inteligentes	107
8.6. Nanocompuestos	108
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
9.1. Conclusiones	111
9.2. Recomendaciones.....	112
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA	115
Apéndices	127
Apéndice A. Panorama del sector plástico para el año 2004	129
Apéndice B. Ingredientes utilizados en la producción de embutidos	130

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Evolución de las exportaciones del sector industrial 2009-2013	4
Figura 2.2. Composición de la producción industrial según régimen	4
Figura 2.3. Composición de la industria según tamaño (número de trabajadores)	5
Figura 2.4. Exportaciones según sector para el año 2013	7
Figura 2.5. Exportaciones de la industria alimentaria 2009- 2014.....	7
Figura 2.6. Composición de la industria de alimentos según tamaño (número de trabajadores)	8
Figura 2.7. Composición de la producción por subsectores de la industria de alimentos según generación de valor agregado.....	8
Figura 2.8. Exportaciones de la industria plástica 2009- 2013.....	9
Figura 2.9. Composición de la industria plástica según tamaño (número de trabajadores)	10
Figura 2.10. Composición de la producción por subsectores de la industria plástica	10
Figura 2.11. Participación de la producción en mercados finales	11
Figura 2.12. Importaciones de materiales poliméricos de empaque en el año 2012	11
Figura 3.1. Curva de carga – esfuerzo para empaques flexibles	19
Figura 4.1. Estructura química del polietileno tereftalato	22
Figura 4.2. Estructura química del polietileno	22
Figura 4.3. Estructura química del policloruro de vinilo	26
Figura 4.4. Estructura química del polipropileno.....	26
Figura 4.5. Estructura química del poliestireno	27
Figura 4.6. Estructura química del policaprolactama (nylon 6).....	28
Figura 4.7. Estructura química del alcohol etilenvinílico	28
Figura 4.8. Estructura química del poliuretano	29
Figura 7.1. Importancia de los criterios de selección de empaques en la industria costarricense de alimentos	94
Figura 8.1. Compostaje de botella de ácido poliláctico en un período de 30 días	102
Figura 8.2. Compostaje de lámina de polietileno de baja densidad con un oxo-aditivo en un período de 60 días	103
Figura 8.3. Materiales utilizados en polímeros antimicrobianos para (A) películas no comestibles y (B) películas comestibles.....	106
Figura 8.4. Diagrama de lámina de polímero antioxidante	107
Figura 8.5. Empaque inteligente que indica la madurez de frutas.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1. Importancia del sector industrial en la economía costarricense	3
Cuadro 2.2. Participación relativa de los subsectores en el número de empresas y en la generación de empleo en el sector industrial privado costarricense.....	6
Cuadro 4.1. Principales propiedades de polímeros de uso común en la industria de alimentos	23
Cuadro 4.2. Ingresos provenientes de empaques importados durante el primer semestre del 2013 en valor CIF	33
Cuadro 4.3. Ingresos provenientes de empaques importados durante el segundo semestre del 2013 en valor CIF	34
Cuadro 4.4. Ingresos provenientes de empaques importados durante los años 2012 y 2013 en valor CIF	35
Cuadro 4.5. Toneladas importadas de empaques durante el primer semestre del 2013	35
Cuadro 4.6. Toneladas importadas de empaques durante el segundo semestre del 2013	36
Cuadro 4.7. Toneladas importadas de empaques durante los años 2012 y 2013	36
Cuadro 4.8. Consumo de materias primas poliméricas en el país para el año 2004.....	37
Cuadro 4.9. Componentes migrantes de materiales poliméricos de empaque a alimentos	39
Cuadro 6.1. Empresas entrevistadas y productos elegidos para el estudio	60
Figura 6.2. Instrumento para la recopilación de información utilizado	62
Cuadro 7.1. Materiales de empaque utilizados en la industria de frutas y vegetales precortados según entrevistas en dos empresas del sector.....	66
Cuadro 7.2. Comparación de propiedades mecánicas del poliestireno y el ácido poliláctico	69
Cuadro 7.3. Materiales de empaque utilizados en la industria de chocolate según entrevistas en dos empresas del sector.	70
Cuadro 7.4. Materiales de empaque utilizados en la industria de procesamiento y conservación de embutidos según la entrevista realizada en una empresa.	75
Cuadro 7.5. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de bebidas no alcohólicas, sin carbonatación según entrevistas realizadas en dos empresas.	78
Cuadro 7.6. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de aceites y grasas de origen vegetal según entrevistas realizadas en dos empresas.....	81
Cuadro 7.7. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de productos lácteos según entrevistas realizadas en dos empresas.....	86
Cuadro 7.8. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de galletas según entrevistas realizadas en dos empresas.....	92
Cuadro 7.9. Principales proveedores de empaques poliméricos para alimentos en Costa Rica.....	96
Cuadro 8.1. Proteínas utilizadas como coberturas o láminas comestibles	104
Cuadro 8.2. Función de las coberturas biopoliméricas en papel	105
Cuadro A.1. Composición de la producción nacional en el sector plástico para el año 2004.....	129
Cuadro A.2. Consumo de la industria de envases para el año 2004.....	129
Cuadro B.1. Características de algunos ingredientes utilizados para la producción de embutidos varios	130

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, según el número de empresas presentes, más de un 30% de la industria costarricense corresponde al sector de producción de alimentos y bebidas (CICR, 2013). Independientemente de la rama de trabajo de las empresas correspondientes a este sector, todas requieren de distintos tipos de empaque para la posterior distribución de sus productos.

El empaque seleccionado debe cumplir con las características necesarias para asegurar la mejor calidad del producto empacado así como aumentar su vida útil lo más que se pueda. Por otro lado, este debe generar el menor impacto ambiental posible. Es por esto que es de vital importancia definir los polímeros más efectivos para el empaque de los diferentes tipos de alimentos basándose en la interacción empaque-alimento-ambiente, las condiciones del proceso y almacenamiento y en la facilidad de tratamiento del material posterior a su uso.

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar los requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica. Para el cumplimiento de este objetivo, se realizaron las siguientes actividades:

- Investigación bibliográfica acerca de los criterios de selección de empaques, polímeros de uso común, impacto ambiental, normas y legislación sobre empaque de alimentos y nuevas tendencias en el empaque de alimentos.
- Definición de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de cada uno de los polímeros de uso común.
- Establecimiento de requerimientos de empaque según características del alimento y su interacción con el ambiente.
- Determinación de la oferta de materiales poliméricos para empaque de alimentos en el país.
- Diseño de un instrumento para el registro de información de requerimientos de los polímeros en la industria de alimentos.
- Aplicación del instrumento en industrias representativas de los diferentes sectores.
- Finalmente, comparación de la información obtenida mediante investigación bibliográfica con la obtenida por medio del instrumento.

CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA EN COSTA RICA

2.1 Perfil de la Industria Costarricense

El sector industrial es el conjunto de actividades en donde se transforman materias primas en diversos productos finales. Este sector abarca una gran variedad de empresas que se clasifican según los productos que generan e incluye todas aquellas actividades dentro de la economía del país en donde se da la transformación de las materias primas. Dicho sector ha presentado una tasa promedio de crecimiento anual del 5,1 % a través de los últimos veinte años, crecimiento que le ha permitido consolidarse como el principal sector en el aporte al Producto Interno Bruto con una participación que en los cinco últimos años ronda el 22,5 % (CICR, 2013). La importancia radica en que ha generado grandes aportes con su participación tanto en exportaciones como en importaciones, además de la generación de empleo. Los aportes mencionados se muestran en detalle en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Importancia del sector industrial en la economía costarricense

Indicador	Porcentaje
Participación en el PIB real a precios básicos (2011)	23,0 %
Participación en las exportaciones de bienes (2011)	74,8 %
Participación en la generación de empleo total (2011)	11,9 %
Aporte al empleo formal del sector privado (2012)	16,1 %
Importaciones de materia prima, bienes intermedios, maquinaria y equipo para la industria como porcentaje de importaciones totales (2011)	60,3 %
Ventas de energía eléctrica como porcentaje total de las ventas (2011)	24,3 %

Fuente: (CICR, 2013)

Como se observa en el cuadro anterior, para el año 2011 el sector industrial generó casi un 75 % de las exportaciones de bienes en el país. En la Figura 2.1 se observa que las exportaciones del sector industrial han tenido un gran crecimiento en los últimos años donde se observa que aumentan aproximadamente mil millones de dólares (US\$) con respecto al año anterior.

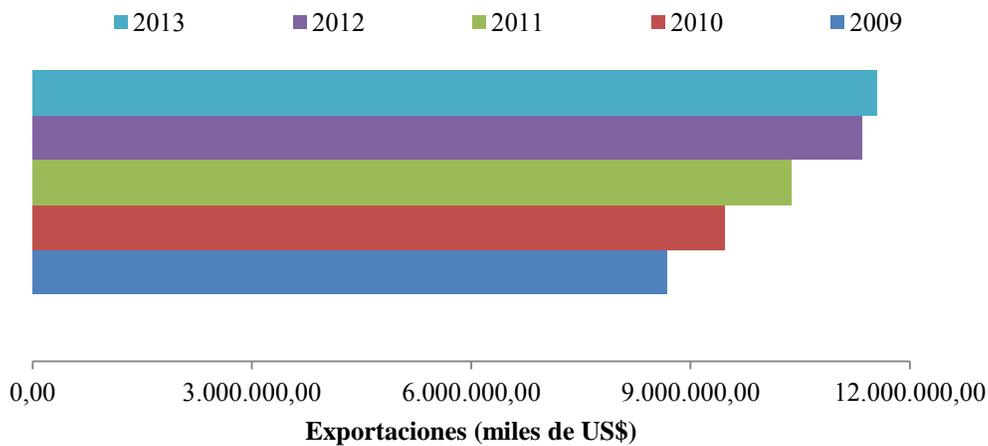


Figura 2.1. Evolución de las exportaciones del sector industrial 2009-2013
Fuente: (PROCOMER, 2014)

En la Figura 2.2 se muestra la distribución de la producción industrial según el tipo de régimen. Se observa que del año 1991 al 2010 se dio un crecimiento en el establecimiento industrial en las zonas francas. Esto se debe principalmente al incremento de la producción con alta tecnología, ya que estas zonas incluyen mayor facilidad de instalación de equipos y maquinarias.

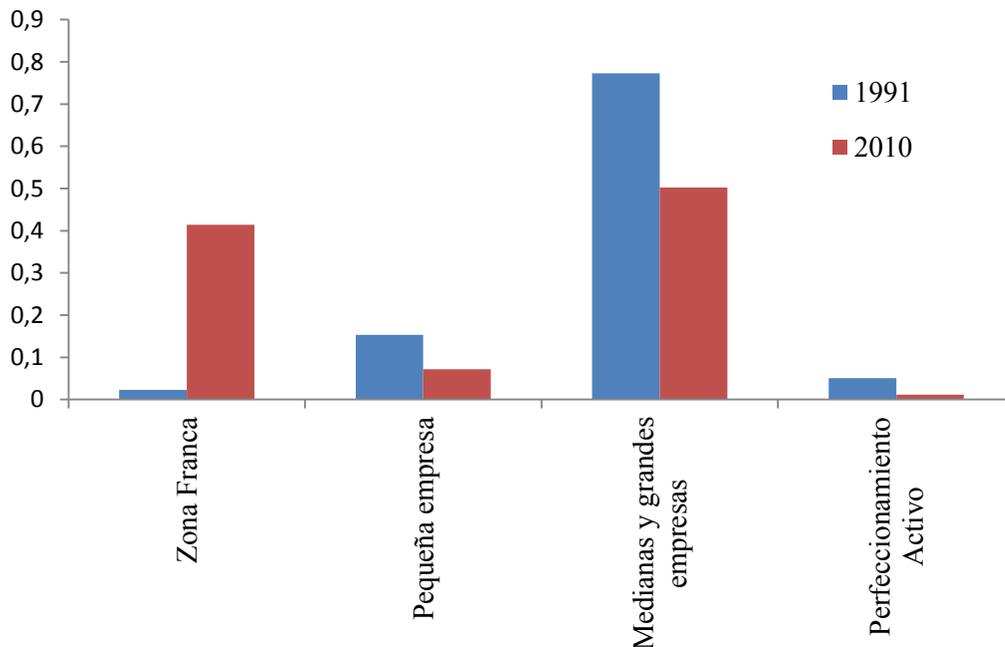


Figura 2.2. Composición de la producción industrial según régimen
Fuente: (CICR, 2013)

En el Cuadro 2.1 se observa que el sector industrial aporta un 12 % del empleo total generado, lo que según la Cámara de Industrias de Costa Rica (2013), equivale a un poco más de 236.000 puestos generados, logrando así que sea el tercer sector generador de empleo, después del sector de comercio y el agropecuario. En la Figura 2.3 se muestra la distribución del parque industrial según el tamaño de las empresas, donde se observa que casi un 60 % de las empresas industriales del país emplean 5 o menos trabajadores mientras que solo un 5 % emplean más de 100.

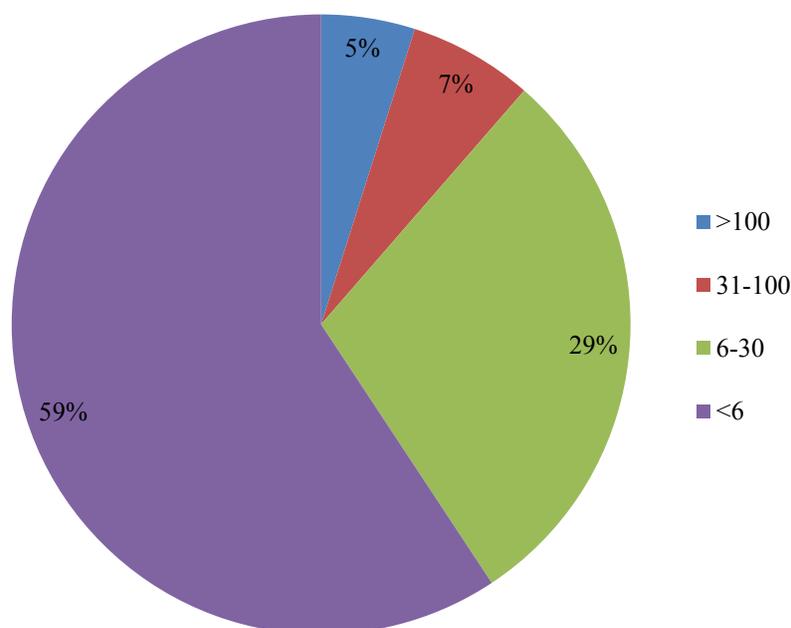


Figura 2.3. Composición de la industria según tamaño (número de trabajadores)
Fuente: (CICR, 2013)

2.2 Industria Alimentaria

En la actualidad el sector de producción de alimentos y bebidas representa más de un 30 % de la industria costarricense (ver Cuadro 2.2). Adicionalmente, se caracteriza porque genera un mayor número de empleos. Por estas razones, la industria alimentaria es la más sobresaliente en el país.

Cuadro 2.2. Participación relativa de los subsectores en el número de empresas y en la generación de empleo en el sector industrial privado costarricense

Descripción	Empresas (%)	Empleados (%)
Alimentos y bebidas	30,1	37,8
Fabricación de muebles, industrias manufactureras NCP ¹	10,7	3,3
Actividades de edición e impresión y reproducción de grabaciones	10,5	5,1
Fabricación de productos elaborados con metal, excepto maquinaria y equipo	7,8	6,1
Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho	6,5	3,0
Fabricación de sustancias y productos químicos	4,9	10,2
Fabricación de productos minerales no metálicos	4,2	4,0
Fabricación de productos textiles	4,1	3,6
Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	3,1	2,0
Fabricación de productos de caucho y plástico	2,8	5,5
Fabricación de prendas de vestir, adobo y tejidos de pieles	2,6	2,4
Fabricación de maquinaria y equipo NCP	2,5	1,2
Fabricación de instrumentos médicos, ópticos, de precisión y fabricación de relojes	2,2	4,3
Fabricación de metales comunes	1,6	1,3
Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos NCP	1,5	3,8
Curtido y adobo de cueros, fabricación de productos de cuero y zapatos	1,2	0,3
Reciclamiento	1,1	0,5
Fabricación de papel y productos de papel	1,0	1,9
Fabricación de otros tipo de equipo de transporte	0,6	0,2
Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y telecomunicaciones	0,5	0,7
Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática	0,3	2,4
Productos de tabaco	0,2	0,3
Fabricación de coque, productos de refinación de petróleo	0,1	0,0

Fuente: (CICR, 2013)

Para el año 2013, del total de las exportaciones anuales, un 13 % correspondió a la industria de alimentos, siendo la cuarta exportadora a nivel industrial, como se observa en la Figura 2.4,

¹ NCP: no clasificadas previamente.

después de la industria eléctrica y electrónica con un 28 %, la industria agrícola con un 21 % y la industria de equipo de precisión y médico con un 14 %.

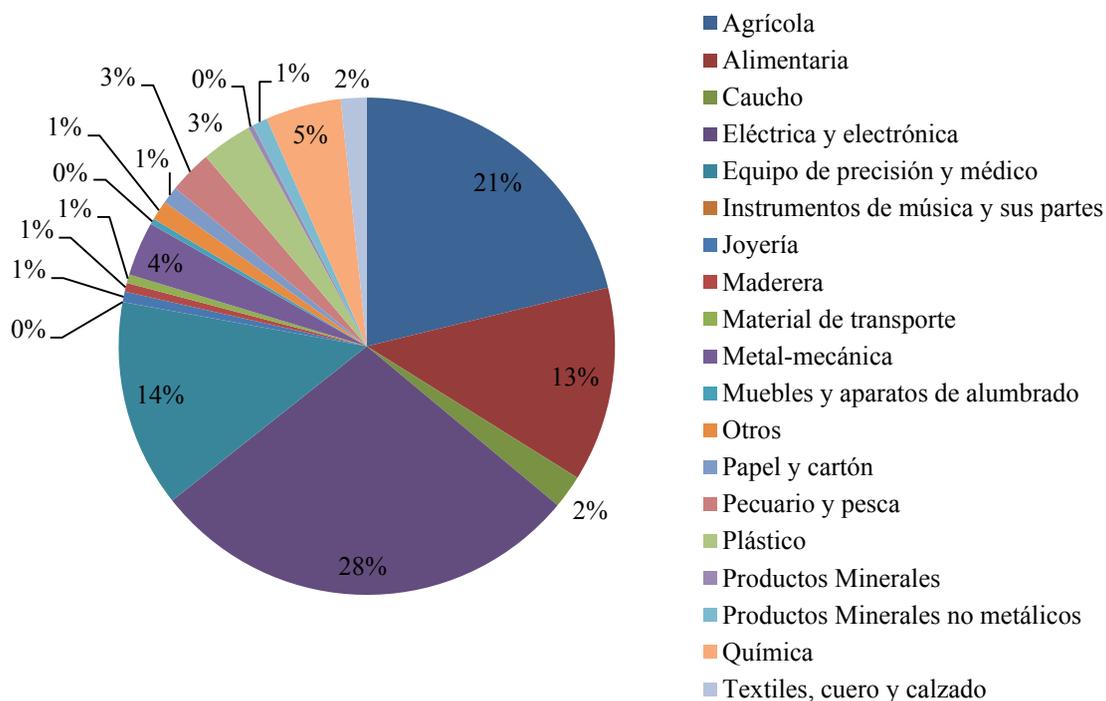


Figura 2.4. Exportaciones según sector para el año 2013
Fuente: (PROCOMER, 2014)

En la Figura 2.5 se observa que con el transcurso de los años se ha dado un incremento en las exportaciones anuales. Cabe destacar que para el año 2014 solo se toman en cuenta las exportaciones generadas hasta agosto lo que permite proyectar que aún para dicho año se cumplirá este crecimiento.

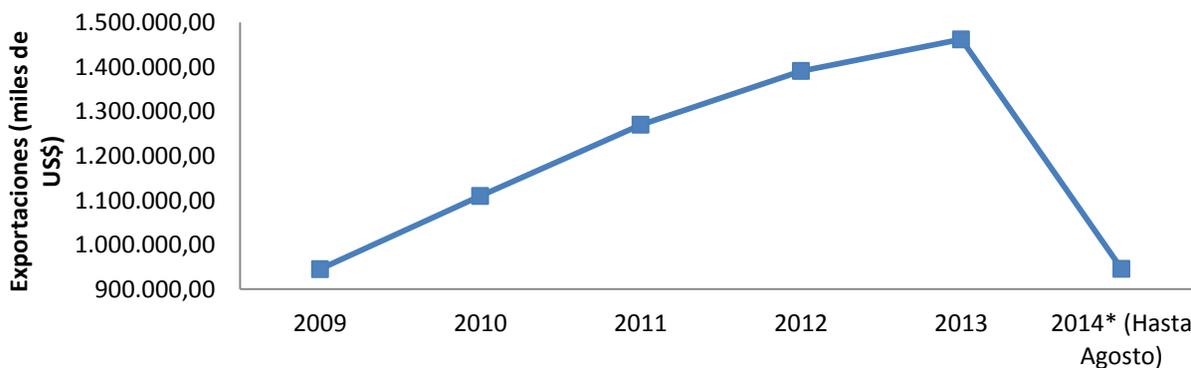


Figura 2.5. Exportaciones de la industria alimentaria 2009- 2014
Fuente: (PROCOMER, 2014)

En la Figura 2.6 se muestra la distribución de las industrias según su tamaño; a diferencia del sector industrial en general (ver Figura 2.3), en la industria de alimentos la proporción de la industria que emplea entre 6-30 empleados es mayor. Esta proporción es casi la misma que la que emplea 5 o menos empleados, donde estas dos representan el 86 % de las empresas.

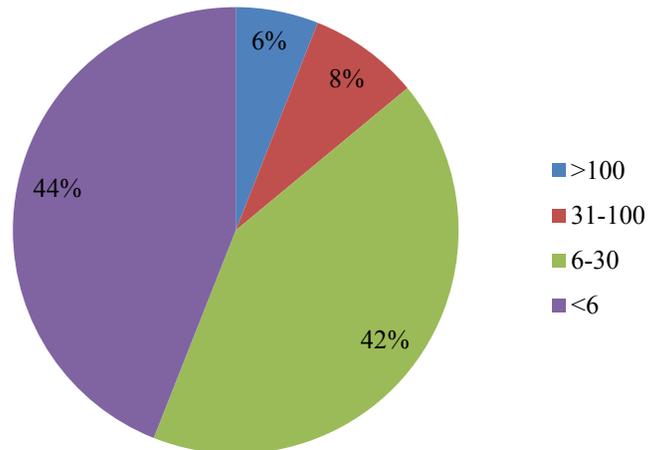


Figura 2.6. Composición de la industria de alimentos según tamaño (número de trabajadores)
Fuente: (Hidalgo, Herrera, López, & Velásquez, 2009)

Finalmente, la distribución de la producción por subsectores se muestra en la Figura 2.7; se observa que la industria de bebidas y tabacos sobresale con casi un 25% de la producción total, seguida por las industrias cárnica y láctea. Las frutas y hortalizas generan muy pocas ganancias ubicándose dentro del 9 % correspondiente a otros.

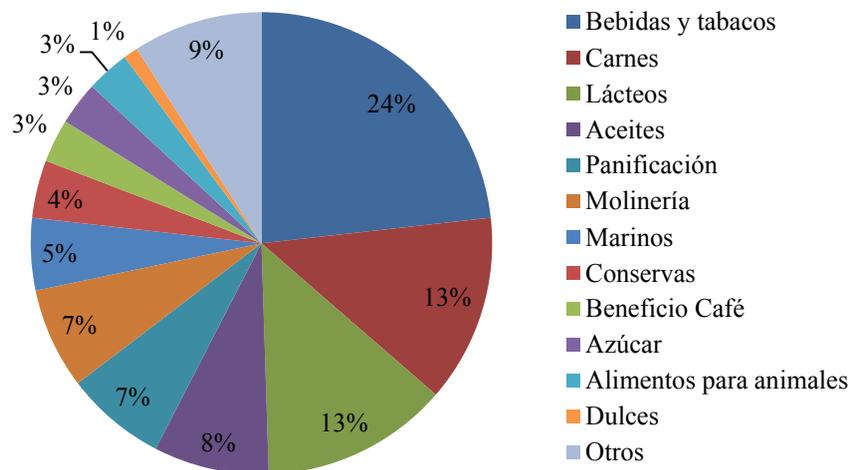


Figura 2.7. Composición de la producción por subsectores de la industria de alimentos según generación de valor agregado
Fuente: (Hidalgo, Herrera, López, & Velásquez, 2009)

2.3 Industria Plástica

Independientemente de la rama de trabajo de las empresas del sector alimentario, todas requieren de distintos tipos de empaque para la posterior distribución de sus productos. La industria de polímeros, conocida comúnmente como industria plástica, provee una gran variedad de materiales poliméricos de empaque según las necesidades de los alimentos a distribuir.

En los últimos años la industria plástica ha cobrado importancia en las exportaciones. Para el año 2012, del total de las exportaciones anuales, como se observa en la Figura 2.4, el 2 % corresponde a dicha industria. En la Figura 2.8 se muestra el crecimiento de las exportaciones desde el año 2009 donde se observa un crecimiento anual de aproximadamente 50 millones de dólares.

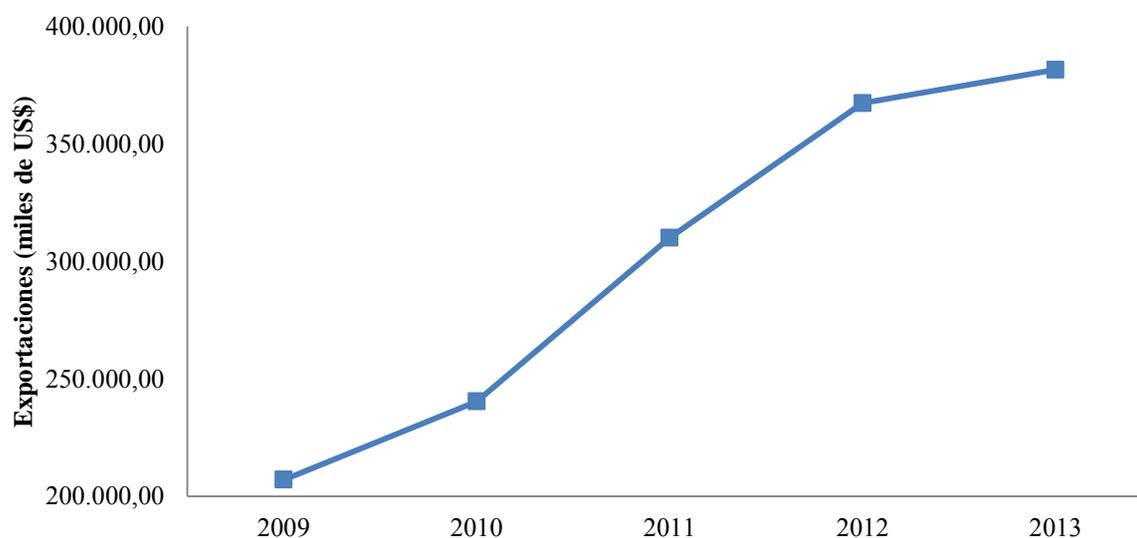


Figura 2.8. Exportaciones de la industria plástica 2009- 2013
Fuente: (PROCOMER, 2014)

En la Figura 2.9 se muestra la distribución de las industrias del sector plástico según el número de empleados. La mayor parte de las industrias emplean a 5 o menos trabajadores, sin embargo, el sector posee un 11 % de empresas con más de 100 empleados, lo que duplica porcentualmente tanto al resto del sector industrial como a la industria de alimentos.

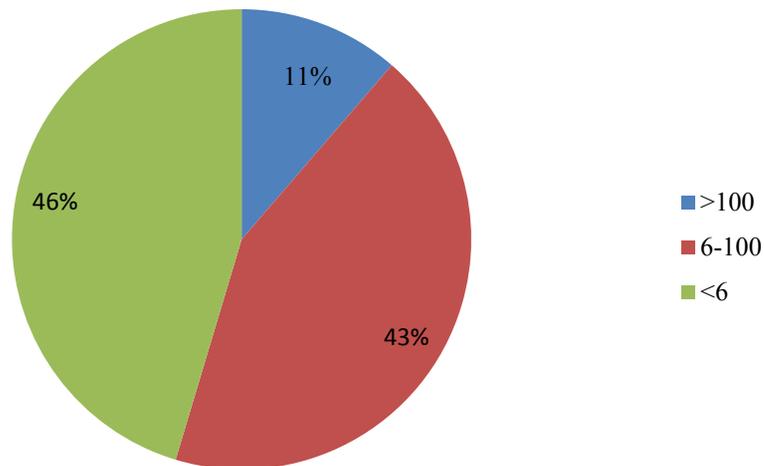


Figura 2.9. Composición de la industria plástica según tamaño (número de trabajadores)
Fuente: (Calderón, Chacón, & Gutiérrez, 2011)

En la Figura 2.10 se muestra la distribución de la producción por subsectores, donde se observa que la industria de inyección genera casi la mitad de la producción total, seguida por la industria de termoformado.²

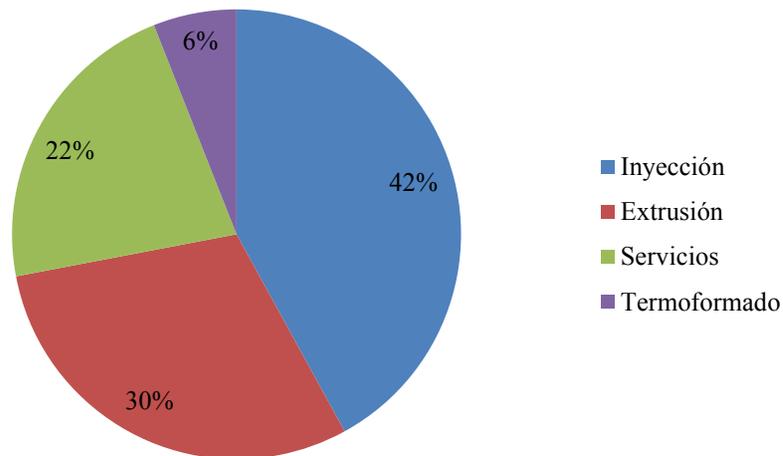


Figura 2.10. Composición de la producción por subsectores de la industria plástica
Fuente: (Calderón, Chacón, & Gutiérrez, 2011)

En la Figura 2.11, se muestra que un 24 % de la producción de la industria plástica se dirige a la industria de alimentos como mercado final, siendo esta su mercado secundario, después del mercado industrial en general.

² El sector de servicios a la industria plástica ofrece desde productos como materias primas, equipamiento y accesorios, equipos de pruebas, equipos de control, equipos auxiliares, hasta el servicio de análisis de las resinas (Calderón, Chacón, & Gutiérrez, 2011).

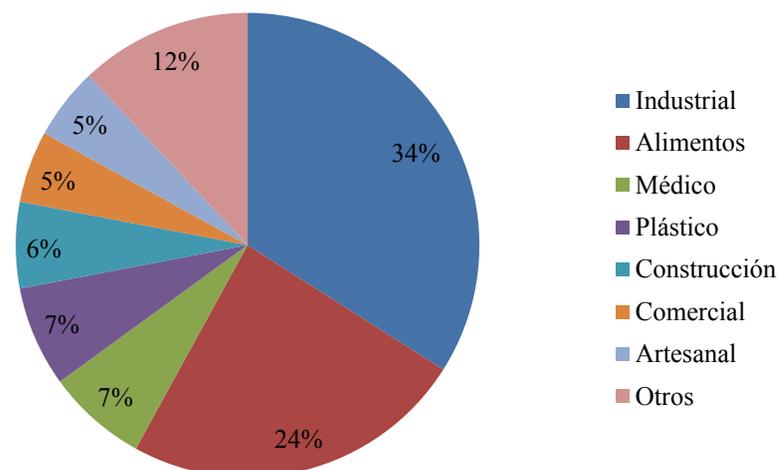


Figura 2.11. Participación de la producción en mercados finales
Fuente: (Calderón, Chacón, & Gutiérrez, 2011)

Se debe mencionar que para satisfacer la demanda de polímeros para empaque no es suficiente la producción a nivel nacional por lo que se importan algunos. En la Figura 2.12, se observa que el polietileno de baja densidad es el que genera un mayor valor de importación siendo del orden de 70 millones de dólares anuales, seguido por el policloruro de vinilo con 50 millones de dólares, aunque parte de la resina se importa para la producción de tuberías y accesorios. Las importaciones de alcohol etilen-vinílico y el celofán son de aproximadamente 1 millón de dólares anuales.

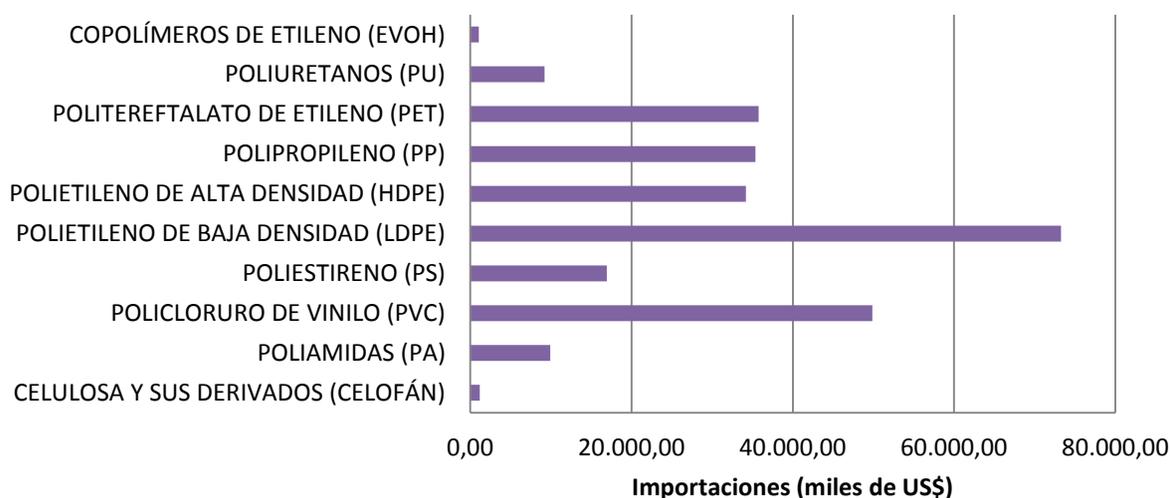


Figura 2.12. Importaciones de materiales poliméricos de empaque en el año 2012
Fuente: (PROCOMER, 2014)

La relevancia de la industria de producción de alimentos y bebidas en Costa Rica conlleva al requerimiento creciente de empaques más útiles ya que los alimentos deben ser protegidos para que se preserven y se transporten adecuadamente hasta el consumidor. El uso de empaques poliméricos es una de las alternativas disponibles y el sector productivo requiere conocer la variedad de polímeros existente con propiedades que se ajustan a los distintos requerimientos de los alimentos.

Los polímeros que se utilizan en alimentos deben ser correctamente caracterizados y analizados para asegurar que su interacción con el alimento no altere el producto y asegure su inocuidad. Los polímeros más utilizados en esta industria son polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, poliamidas (nylon 6), alcohol etilenvinílico, poliuretano y celofán. En el presente trabajo se definen y caracterizan estos materiales y se analiza su uso en la industria alimentaria a nivel nacional.

CAPÍTULO 3: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Previo a la caracterización de los diferentes tipos de polímeros, se describen algunas propiedades de los materiales poliméricos y su relevancia dentro de la selección y la interacción empaque-alimento-ambiente.

3.1 Físicas

Las propiedades físicas son aquellas que pueden ser medidas y observadas sin cambiar la composición o identidad del material, como lo son las dimensiones y las propiedades ópticas. Su relevancia radica en el aspecto físico del empaque, ya que debe ser atractivo y funcional para los compradores. Dentro de estas se incluyen:

- Densidad (g/cm³): es la relación entre la masa y el volumen de un material. La densidad es un parámetro que se varía en el diseño de empaques para obtener una amplia gama de aplicaciones, tal como es el caso de los polietilenos.
- Transparencia (%): es una propiedad óptica del material que mide la facilidad con que la luz pasa a través de este. Cuanto más transparente, permite ver con mayor claridad a través del material. Para materiales plásticos se mide como porcentaje, y es opuesto a la opacidad. Empaques con alta transparencia se usan para productos en los que se pretende que el consumidor pueda apreciar el aspecto del producto.
- Opacidad (%): la opacidad, o “haze” por su término en inglés, es la propiedad que mide qué tanto se impide el paso de la luz a través del material. Se mide como porcentaje. Un material con alta opacidad es útil en el empaque de alimentos que son sensibles o se descomponen en presencia de la luz.
- Brillo (%): se trata de la capacidad del material para reflejar la luz. Se mide la cantidad de luz reflejada en el material a un ángulo definido en comparación con un material estándar que posee un brillo del 100 % (Omnexus, 2013). Es un criterio que se toma en cuenta a la hora de elegir el material ya que un empaque con alto brillo puede ser más atractivo para el comprador que uno de bajo brillo.

- Tensión superficial (N/m): la tensión superficial es la fuerza que actúa por unidad de longitud de un material que está en contacto con una película de líquido. Actúa como una fuerza que se opone al aumento de área de la película de líquido (Castellán, 1987). De esta variable depende la adherencia del contenido líquido al envase.
- Temperatura de fusión (K): es la temperatura a la cual el material pasa del estado sólido al líquido. En aplicaciones de empaque de alimentos, se debe tener presente la temperatura de fusión del material de empaque ya que muchos productos se empaquetan a altas temperaturas o requieren de tratamientos con calor como lo es el sellado.
- Índice de refracción: es la relación entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el material que se está analizando. El índice de refracción es una de las constantes más importantes que se emplean para obtener la identidad de un compuesto (Pasto & Johnson, 1981).
- Permeabilidad ((m³*m)/(m²*s*Pa)): se refiere a la capacidad de un material para permitir el paso de sustancias ajenas sin modificar su composición y estructura. El uso de empaques con permeabilidad restringida para el paso de oxígeno o dióxido de carbono, permite controlar la composición de gases en el espacio de cabeza. En el caso de algunas frutas y hortalizas frescas, esto permite una atmósfera en el interior del empaque de bajo oxígeno y elevado dióxido de carbono, que contribuye a reducir la tasa respiratoria del producto y disminuir la tasa de deterioro. Sin embargo, para productos frescos, también se debe tener cuidado de que los niveles de oxígeno no alcancen valores muy bajos, que puedan llevar a activar procesos anaerobios en el alimento (Danish Technological Institute, 2008) o generar el crecimiento de bacterias anaeróbicas dañinas para el consumo humano. Reducir la permeabilidad del vapor de agua contribuye a reducir el intercambio con el ambiente, ya sea evitando la hidratación de productos secos o limitando la transpiración en frutas y verduras una vez empacadas. El intercambio de grasas con el ambiente a través del material puede reducir la calidad del producto al disminuir la cantidad de grasa contenida y/o crear superficies grasosas en los empaques.

3.2 Químicas

Una propiedad química es la que se relaciona con los cambios de composición o las reacciones con otras sustancias. Estas incluyen la tendencia de una sustancia a reaccionar con otra, enmohecerse, corroerse, estallar o actuar como veneno o carcinógeno (Burns, 2003).

Estas propiedades son relativas a la composición, la pureza y los aditivos que puedan incorporarse en la formulación del material de empaque. Son las que definen directamente la interacción empaque-alimento-ambiente. En el caso de la industria de alimentos, no debe haber migración de sustancias desde el material de empaque hacia el producto, por lo que se debe tener cuidado al seleccionar los materiales y considerar tanto las características químicas del empaque como las del alimento.

En el presente proyecto, se analiza la absorción de agua que se define como:

- Absorción de agua (%/24h): es la masa de agua que el material incorporó en un período de veinticuatro horas, entre la masa inicial del material. Se indica como un porcentaje. A la hora de empacar alimentos húmedos no se deben utilizar materiales con alta absorción de agua, ya que esto puede ocasionar, no solo la pérdida de agua del producto, sino también un cambio en las propiedades del material.

3.3 Térmicas

Las propiedades térmicas son aquellas que se refieren al comportamiento del material frente a la aplicación de calor y/o cambios de temperatura. Estas propiedades reflejan la respuesta al calor de los empaques terminados, ya sean bolsas, botellas, bandejas u otros recipientes y varían según el material y proceso de fabricación, el grosor de las paredes y algunos otros factores. La capacidad de sellado del material es un criterio de alta importancia para la protección del alimento, ya que un sello óptimo evita el ingreso de contaminantes al producto una vez procesado y empacado.

Muchos alimentos requieren de tratamientos térmicos durante su proceso, lo que define las propiedades térmicas del material requerido. Las principales propiedades térmicas son:

- Capacidad calorífica (J/mol K): es la capacidad de un material para absorber el calor de su entorno; representa la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura en una unidad y normalmente se expresa por mol (o masa) de material (Callister, 2007).
- Calor de fusión (J/mol): corresponde al calor requerido para hacer pasar una sustancia del estado sólido al líquido. Esta propiedad se debe conocer para utilizar el calor apropiado en tratamientos que lo requieran como lo son el sellado, el termoencogimiento y el termoformado.
- Conductividad térmica (W/m K): se define como la capacidad de un material para transferir calor desde las regiones de alta temperatura hasta las regiones de baja temperatura en una sustancia (Callister, 2007). Para alimentos empacados que deban someterse a un proceso térmico de calentamiento o enfriamiento, la conductividad térmica del material afectará la velocidad de transferencia de calor a través del empaque.
- Difusividad térmica (m²/s): la difusividad térmica mide la velocidad a la que la temperatura cambia dentro de una sustancia hasta alcanzar el equilibrio térmico (Gutiérrez M. , 1993).
- Coefficiente de expansión térmica (K⁻¹): el coeficiente de expansión térmica se define como el aumento relativo en volumen de un material dividido por el aumento de temperatura, a presión constante (Castellán, 1987). Esta propiedad se utiliza para el ajuste de maquinaria de empaque en bolsas de formato continuo impresas, en que debe compensarse el cambio del tamaño del material con la impresión del material, para que los cortes se realicen donde corresponden.

3.4 Mecánicas

Estas propiedades miden la respuesta del material a la aplicación de fuerzas externas. Son también propiedades físicas pero se presentan por separado por la forma de medición y su relación con la resistencia del empaque al manejo. Entre estas se pueden mencionar:

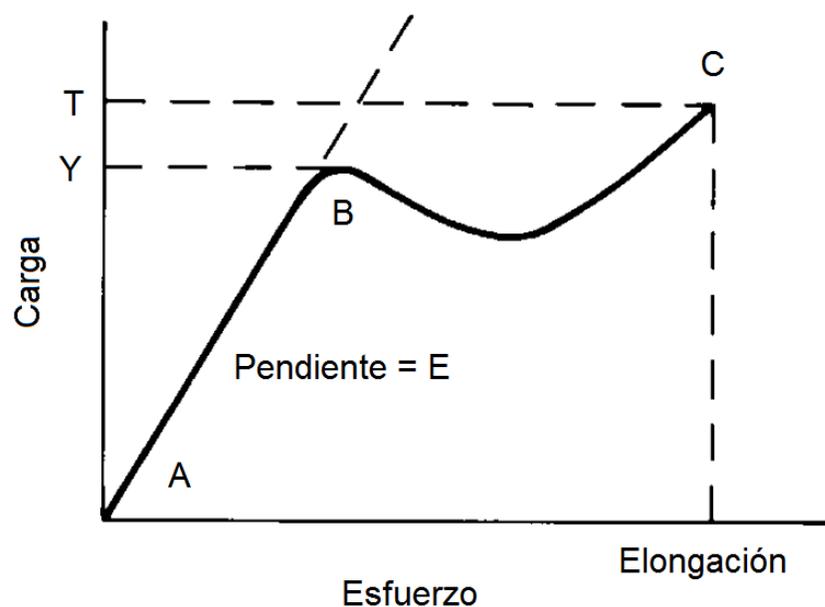
- Factor de fricción: el término factor de fricción se refiere al parámetro adimensional que mide el esfuerzo cortante en la superficie del objeto (Potter & Wiggert, 2002). Se debe tomar en cuenta para el transporte del empaque en las bandas transportadoras del

proceso. Además, las láminas poliméricas vienen en bobinas por lo que el factor de fricción cumple un papel significativo en la fuerza que se debe aplicar para desenrollar las bobinas, para luego formar el empaque o bolsa que contendrá el alimento.

- Módulo de Young o Módulo de elasticidad (Pa): es la constante de proporcionalidad que relaciona la tensión con la deformación en un material (Callister, 2007). Es un parámetro esencial en la selección ya que la deformación puede ser problemática en la protección del alimento, así como en su aspecto físico.
- Módulo de compresibilidad (Pa): Es el cociente entre el cambio de presión y la disminución relativa al volumen (Tipler & Mosca, 2006). Este parámetro debe tenerse presente al estibar los empaques ya que podrían sufrir deformación por el peso de los empaques superiores.
- Módulo de flexión (Pa): la rigidez, dureza o módulo de flexión es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada (Callister, 2007). Este módulo determina la capacidad del material de empaque a resistir la aplicación de una fuerza en un punto, lo que indica si el material fallaría al ser golpeado.
- Esfuerzo de corte (Pa): el esfuerzo de corte o cizalla es el resultado de la aplicación de dos fuerzas paralelas en direcciones opuestas, lo que genera una ruptura o corte sobre la superficie en contacto. Un material con esfuerzo de corte bajo va a fallar a la hora de recibir impactos y/o punzaduras que pueden ocurrir durante el transporte o en el punto de venta.
- Fuerza de impacto (J/m): la fuerza o resistencia al impacto es una medida de la energía necesaria para romper una muestra del material (Seymour & Carraher, 2002). Al igual que el esfuerzo de corte, debe tomarse en cuenta en la protección del alimento.
- Esfuerzo último (%): el esfuerzo último o resistencia a la tracción es la elongación que bajo determinadas condiciones causa la suficiente tensión para romper la muestra (Brown R. , 1999). Corresponde a la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura a tracción. Hasta este punto, toda la deformación es uniforme (Callister, 2007). Al igual que el esfuerzo a ceder, es una propiedad que se debe controlar al estibar las láminas poliméricas para evitar dañarlas.

- Esfuerzo de fluencia (%): el esfuerzo de fluencia, o “yield elongation” por su nombre en inglés, se define como el esfuerzo que provoca una deformación remanente del 0,2 % (Dalmau Garcia & Vilardell Coma, 2003). Debe considerarse cuando se tienen bobinas con láminas poliméricas ya que el material debe resistir la fuerza para desenrollarlas, de lo contrario sufrirá daños y deformaciones.
- Resistencia a la tensión de quiebre (Pa): la resistencia a la tensión de quiebre es la mayor cantidad de fuerza de tensión que un sólido puede soportar antes de fallar. Si el material se rompe, el producto queda expuesto y se pierde la protección (Holgate, 2010).
- Resistencia a la tensión de fluencia (Pa): la resistencia a la tensión de fluencia se refiere a la carga a la cual una pequeña, pero medible, cantidad de deformación inelástica o plástica ocurre (Davis, 2004). Al igual que el módulo de Young, se debe controlar la resistencia a la tensión de fluencia para prevenir deformaciones en los empaques finales.
- Módulo de corte (Pa): el módulo de corte o cizalladura es la razón de la magnitud de la fuerza tangente al área de la cara del cuerpo a la que se le aplica la fuerza (Serway & Faughn, 2001). Durante el transporte, los empaques pueden estar expuestos a esfuerzos de cizalladura, por lo que este modulo indica si el material de empaque puede resistir los esfuerzos.
- Esfuerzo a la compresión (Pa): el esfuerzo a la compresión es la fuerza aplicada por unidad de área transversal con el propósito de acortar la longitud de un objeto (Wilson & Buffa, 2003). Esta característica se debe tomar en cuenta al paletizar y estibar los empaques para evitar una falla según el esfuerzo máximo a la compresión que puedan resistir.

La resistencia de un material polimérico se puede determinar midiendo la carga que resulta de una fuerza aplicada para obtener los valores correspondientes a las siguientes propiedades, mostradas en la Figura 3.1: resistencia a la tensión de quiebre (T), módulo de Young (E), resistencia a la tensión de fluencia (Y) y punto de quiebre (C) (Fellows, 2000).



T: Resistencia a la tensión de quiebre
 E: Módulo de Young
 Y: Resistencia a la tensión de fluencia
 C: Punto de quiebre

Figura 3.1. Curva de carga – esfuerzo para empaques flexibles
 Fuente: (Fellows, 2000)

3.5 Eléctricas

Son las propiedades que definen el comportamiento del material frente a la aplicación de una corriente eléctrica. Algunas de estas propiedades se definen a continuación.

- Constante dieléctrica (adimensional): la permitividad relativa o constante dieléctrica de un material indica cuantas veces mayor sería la capacidad de un condensador al usar dicho material como dieléctrico³ en lugar del aire (Häberle, 1979). La constante dieléctrica refleja la habilidad del material para almacenar energía cuando el alimento está sometido a un campo eléctrico, lo que se conoce como polarización. En alimentos, cada fenómeno de polarización lleva asociado un fenómeno de disipación de parte de la energía de la onda en el material, dando lugar a absorciones de energía (Castro G.,

³ Materiales constituidos por dipolos eléctricos (Menéndez, 1999).

2010). Por esto, se debe controlar el valor de la constante dieléctrica según la absorción de energía requerida por parte del alimento.

- Conductividad eléctrica ($\text{Ohm}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$): el término conductividad eléctrica se refiere a la capacidad de un material para transferir electricidad. En general, los polímeros presentan conductividades eléctricas bajas, pero con la absorción de humedad la conductividad eléctrica aumenta, pudiendo generar daños en el producto previamente empacado por la transferencia del calor que acompaña a la transferencia de electricidad.

Todas las propiedades mencionadas anteriormente se deberían considerar a la hora de seleccionar el material apropiado según las características que presentan los diferentes alimentos. Sin embargo, muchas veces en la práctica, solo se toman en cuenta algunas de estas según el alimento a empacar, ya que es casi imposible encontrar un material ideal para cada producto. En la industria alimentaria se debe considerar que el material de empaque debe ser inerte al alimento, es decir, este no debe reaccionar con él ni liberar sustancias químicas, por lo que no todos los materiales disponibles en el mercado son aptos para estar en contacto con alimentos.

La función del empaque es proteger el alimento, entonces se requiere conocer las propiedades de los productos a empacar, así como, el conjunto de características de los empaques con el fin de realizar una mejor selección.

Los polímeros son materiales muy versátiles y por sus características se usan ampliamente para el empaque de distintas clases de alimentos. En el siguiente capítulo se procede con la definición y caracterización de los polímeros de uso común en el empaque de alimentos, mediante valores cuantitativos para cada característica.

CAPÍTULO 4: POLÍMEROS

4.1 Generalidades

Un polímero es una sustancia constituida por moléculas que presentan repetición de una o varias unidades monoméricas. Las unidades monoméricas se caracterizan por ser sustancias de bajo peso molecular, capaces de unirse a otras moléculas similares para crear largas cadenas y así formar los polímeros (Vela, Blanco, & Carbonell, 2006).

Pueden clasificarse según su naturaleza como polímeros naturales, naturales modificados y sintéticos. Siendo estas últimas dos clasificaciones resultados de intentos del ser humano de reproducir características de materiales naturales como el caucho. Otras formas de clasificación son, según la forma macromolecular, que se pueden clasificar como lineales, ramificados y entrecruzados y según la igualdad de los monómeros que pueden ser homopolímeros o copolímeros.

En general, a pesar de las grandes diferencias de composición y estructura de los diferentes polímeros, existe una serie de propiedades comunes que los distingue de otros materiales (Beltrán & Marcilla, 2012). Estas propiedades se detallan posteriormente y son las responsables de la efectividad de los polímeros de empaque sobre otros como los son algunos metales, cartones e inclusive mezclas de estos.

4.2 Polímeros de uso común en la industria de alimentos y sus propiedades

Los materiales poliméricos más utilizados para el empaque de alimentos y sus propiedades se describen a continuación.

4.2.1 Polietileno Tereftalato (PET)

El polietileno tereftalato es un material producido tradicionalmente por dos reacciones consecutivas de intercambio estérico. Primeramente, se calienta dimetil tereftalato con etilenglicol a aproximadamente 200 °C, lo que genera dihidroxietyl tereftalato (monómero) y metanol que se remueve. En el segundo paso, se disminuye la temperatura lo que genera la

formación del polímero mientras se destila el etilenglicol (Ebewele, 2000). El monómero producido se puede observar en la Figura 4.1.

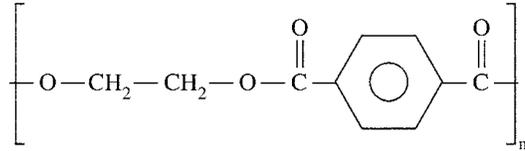


Figura 4.1. Estructura química del polietileno tereftalato

Fuente: (Ebewele, 2000)

Este material posee muy buenas propiedades de resistencia a la tensión, baja permeabilidad de gases como oxígeno y dióxido de carbono, buena resistencia a las grasas⁴ y muy baja transmisión de vapor de agua, además de ser transparente después de procesado. Es uno de los polímeros más utilizados; entre sus aplicaciones en el empaque de alimentos se encuentran bandejas, láminas, bolsas y principalmente en botellas sopladas para envase de bebidas frías, carbonatadas y no carbonatadas, en diferentes presentaciones, envases para especias y dulces líquidos. En el Cuadro 4.1 se observan en detalle las propiedades correspondientes a este y otros polímeros de uso común en el empaque de alimentos.

4.2.2 Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno puro consiste en una serie de alquenos como se observa en la Figura 4.2, donde n es el grado de polimerización, es decir, la cantidad de monómeros de etileno que se unieron en la cadena polimérica. El polietileno de alta densidad es el polietileno que químicamente se parece más al polietileno puro, esto por ser moléculas con muy pocos defectos que evitan la linealidad. Al tener pocos defectos, se logra obtener un alto grado de cristalinidad, lo que genera la alta densidad en la resina (Peacock, 2000).

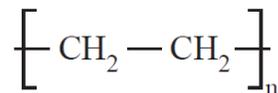


Figura 4.2. Estructura química del polietileno

Fuente: (Ebewele, 2000)

⁴ Según Villamizar F. & Gomez M. (1992), si se busca un polímero de empaque con baja permeabilidad a las grasas, se pueden utilizar PA, PET, PVC, EVOH o PP.

Cuadro 4.1. Principales propiedades de polímeros de uso común en la industria de alimentos

Tipo	Propiedad	Símbolo	Unidades	Polímero				
				PET	HDPE	LDPE	PVC	PP
Físicas	Densidad	ρ	g/cm ³	1,41	0,996	0,92	1,39	0,936-0,946
	Transparencia		%	70-90	80	80	80	85-90
	Brillo		%	105-200	5-120	35-97	nd	75-90
	Opacidad		%	nd	6	1,3-27,5	nd	11
	Tensión Superficial		mN/m	41,7	35,7	nd	33,33	26,1
	Temperatura de Fusión		K	538	418	378-388	485-583	459
	Índice de Refracción		Adimensional	1,57	1,582	1,517-1,526	1,539	1,503
	Transmisión de vapor a 38 °C y 90 %HR		g*mil/(100in ² *dia)	1-2	0,3-0,6	1-2	2-5	0,6-0,7
	Permeabilidad de O ₂		cm ³ *mil/(100in ² *dia*atm)	3-6	100-250	300-600	5-15	150-250
	Permeabilidad de CO ₂		cm ³ *mil/(100in ² *dia*atm)	15-25	350-600	1200-3000	20-50	500-800
Químicas	Absorción de agua		%/24h	0,5	0,01	0,015	0,4	0,1
	Capacidad Calorífica	Cp	kJ/mol K	0,284	30,9E-02	1,65E-04	0,0903	0,0793
Térmicas	Calor de Fusión	ΔH_f	kJ/mol	24,1	4,14	1,37-2,18	4,129	3,702
	Difusividad Térmica		m ² /s	1,3E-07	nd	nd	1,17E-07	1,391E-07
	Coefficiente de Expansión Térmica	α	1/K	9,1E-05	2,1E-04	(10-20)E-05	6,9E-05	(6-17)E-05
	Conductividad Térmica		W/m K	0,29	0,52	0,32-0,35	0,161	0,12-0,22
Mecánicas	Factor de fricción	μ	Adimensional	0,26-0,33	0,20-0,25	0,5-0,59	0,5-0,6	0,29-0,36
	Módulo de Young o elasticidad	E	MPa	1700	60-290	150-250	2400-4000	1100-1600
	Módulo de compresibilidad	K	MPa	1350	nd	130-300	6790	1034,2-2068,4
	Rigidez o Módulo de Flexión		MPa	2000	750-1575	240-330	2100-3500	1389
	Esfuerzo de corte	σ_b	MPa	50	nd	nd	37,2-42,5	28,65
	Fuerza de Impacto		J/m	90	30-200	nd	20-110	27
	Elongación al quiebre o Esfuerzo Último	ϵ_b	%	60	500-700	200-600	28	189
	Elongación de fluencia o Esfuerzo de fluencia	ϵ_y	%	4,1	15	13-17,5	4-20	12,2
	Resistencia a la Tensión de quiebre		MPa	121,6	30-40	25	35-60	29,6-48
	Resistencia a la Tensión de fluencia		MPa	66,7	25-30	9-15	35-50	34,5
Módulo de Corte	G	MPa	710	nd	nd	nd	980,67 (15 °C)	
Esfuerzo a la Compresión de fluencia o de quiebre		MPa	64-69	18,6-24,8	18-25	86	488,3	
Eléctricas	Constante dieléctrica		Adimensional	3,1	2,3	2,28	3,4	2,2-2,3
	Conductividad Eléctrica		1/(Ohm*cm)	5,5E-17	nd	nd	8,62E-14	3,2E-16

Fuentes: (Kaplan, 1998; Mark, 1999; Omnexus, 2013; PolyInfo, 2013; Van der Vegt, 2002; Yam K., 2009)

* nd: no disponible

* PET: Polietileno tereftalato, HDPE: Polietileno de alta densidad, LDPE: Polietileno de baja densidad, PVC: Policloruro de vinilo, PP: Polipropileno

* 1 cm³*mil/(100in²*dia*atm) = 2,44*10¹⁷ m³/kg²

* 1 g*mil/(100in²*dia) = 5661,27 kg/m²

Cuadro 4.1. (Continuación) Principales propiedades de polímeros de uso común en la industria de alimentos

Tipo	Propiedad	Símbolo	Unidades	Polímero				Celofán
				PS	PA	EVOH	PU	
Físicas	Densidad	ρ	g/cm ³	1,111-1,127	1,13	1,14-1,20	1,297	1,45
	Transparencia		%	88	nd	nd	nd	nd
	Brillo		%	nd	130-145	85-95	nd	nd
	Opacidad		%	2	nd	0,5-1,9	nd	nd
	Tensión Superficial		mN/m	34,46	42	39,9	nd	nd
	Temperatura de Fusión		K	513	493	437-464	476	503
	Índice de Refracción		Adimensional	1,59-1,60	1,53	nd	1,763-1,879	1,595-1,618
	Transmisión de vapor a 38 °C y 90 %HR		g*mil/(100m ² *día)	7-10	10-20	5 (a 0 %HR)	nd	nd
	Permeabilidad de O ₂		cm ³ *mil/(100i n ² *día*atm)	250-350	2-3	0,2-3 (a 100 %HR)	nd	nd
	Permeabilidad de CO ₂		cm ³ *mil/(100i n ² *día*atm)	900-1050	10-12	4-10 (a 100 %HR)	nd	nd
Químicas	Absorción de agua		%/24h	0,04	1,6-1,9	0,19-7,7	0,06-0,42	1,8-5,2
	Capacidad Calorífica Cp	Cp	kJ/mol K	0,1274-0,1326	0,178	nd	0,824-0,967	0,1407
Térmicas	Calor de Fusión	ΔH_f	kJ/mol	8,37-10	7,931	5,754-5,905	5,3	nd
	Difusividad Térmica		m ² /s	1,13E-07	1,5E-07	nd	nd	1,5E-7 (a 127 °C)
	Coefficiente de Expansión Térmica	α	1/K	(6-8)E-05	8,3E-4	nd	nd	(2-7,5)E-6
	Conductividad Térmica		W/m K	0,13	0,23	0,34-0,36	0,037-0,332	0,029-0,17
	Factor de fricción	μ	Adimensional	0,43-0,50	0,36-0,46	nd	nd	nd
Mecánicas	Módulo de Young o elasticidad	E	MPa	2500-3500	800-2000	1900-3500	nd	4000
	Módulo de compresibilidad	K	MPa	3000	4400	2068,4-2645,5	222-2482	nd
	Rigidez o Módulo de Flexión		MPa	3100	2829	2800-5800	394-1710	nd
	Esfuerzo de corte	σ_b	MPa	96	nd	nd	nd	nd
	Fuerza de Impacto		J/m	19,7	53	53,4-90,7	9,63-96,26	nd
	Elongación al quiebre o Esfuerzo Último	ϵ_b	%	1-4	70	200-380	3-130	21-30
	Elongación de fluencia o Esfuerzo de fluencia	ϵ_y	%	1-4	7	1-8	4,8-42	nd
	Resistencia a la Tensión de quiebre		MPa	35-60	52,4	30-205	16,69-57,3	100-200
	Resistencia a la Tensión de fluencia		MPa	35-60	38,5	50-94	15,93-45,3	nd
	Módulo de Corte	G	MPa	1200	980	nd	nd	nd
Esfuerzo a la Compresión de fluencia o de quiebre		MPa	65-88	89-111	nd	nd	nd	
Eléctricas	Constante dieléctrica		Adimensional	2,61	3,8	4,8-5,6	2,69-5,82	5,7
	Conductividad Eléctrica		1/(Ohm*cm)	2,9E-17	2,8E-12	4,3E-09	1,5E-12 (40°C)	3E-11

Fuentes: (IDES, 2013; Kaplan, 1998; Mark, 1999; Omnexus, 2013; PolyInfo, 2013; Van der Vegt, 2002; Yam K., 2009)

* nd: no disponible

* PP: Polipropileno, PS: Poliestireno, PA: Poliamidas (Nylon 6), EVOH: Alcohol etilvinílico, PU: Poliuretano

Este polímero posee un bajo factor de fricción, alta fuerza de impacto, alta conductividad térmica, baja permeabilidad al vapor de agua y baja transparencia. Tanto la materia prima como el proceso de producción son más baratos que el PET, por lo que si la transparencia de la botella no es requerida, es una mejor opción. Es utilizado para contenedores opacos o botellas para productos que requieren un envase fuerte sin necesidad de que sea transparente como en el envase de leche (Chin, 2010). Otras aplicaciones incluyen la fabricación de cajas, baldes, bolsas y tapas de envases. En el Cuadro 4.1 se especifican las propiedades correspondientes a este polímero.

Actualmente, este material se utiliza para el envasado de productos lácteos como yogurts líquidos y natilla, bebidas de frutas, salsas, etc.

4.2.3 Polietileno de Baja Densidad (LDPE)

A diferencia del polietileno de alta densidad, este polímero contiene una concentración substancial de ramificaciones en su estructura, lo que dificulta la cristalización. Se produce a alta presión, lo que hace que las ramificaciones frecuentemente se encuentren aglomeradas. Esto genera un compuesto de baja densidad (Peacock, 2000).

Se caracteriza por su alta capacidad de estiramiento, debida a su poca estabilidad dimensional, y por presentar baja transmisión al vapor de agua. A pesar de que posee alta permeabilidad a los gases, el material presenta una excelente estabilidad térmica, lo que hace que se pueda trabajar en un amplio rango de temperaturas sin que exista degradación térmica. Esto permite que se pueda coextruir con otros materiales generando mejores barreras (Giles, Wagner, & Mount, 2014).

El polietileno de baja densidad, debido a su mayor flexibilidad respecto al polietileno de alta densidad, se utiliza para fabricar láminas y bolsas que contienen gran variedad de productos como lo son: granos, azúcar, ensaladas, lácteos, embutidos y muchos otros más. Así como, bandejas y tapas moldeadas por inyección. Por otro lado, se usa en la producción de empaques laminados multicapas como tetra pack® y doypack®. Las propiedades de este polímero se detallan en el Cuadro 4.1.

4.2.4 Policloruro de Vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo es producto de dos de los recursos naturales de la tierra, sal y aceite. El cloro, la soda cáustica y el hidrógeno son productos de la hidrólisis del agua salada, mientras que al refinar aceite se obtiene nafta y etileno. El cloro y el etileno se combinan para formar el cloruro de vinilo (Ver Figura 4.3), monómero que se polimeriza para formar el policloruro de vinilo (Leadbitter, Day, & Ryan, 1997).

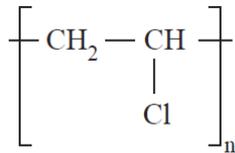


Figura 4.3. Estructura química del policloruro de vinilo

Fuente: (Ebewele, 2000)

Este material que se utiliza principalmente en la fabricación de plástico auto-adherible transparente puesto que es un material de bajo costo y, debido a su alta elongación de quiebre y a su resistencia a la tensión, posee amplia capacidad de estiramiento lo que hace que sea fácil extruirlo en láminas (Chin, 2010). En el Cuadro 4.1 se detallan las propiedades del PVC.

El policloruro de vinilo se puede encontrar en el mercado como film en el empaque de carnes, frutas y vegetales en bandejas y como láminas termoencogibles para etiquetar productos.

4.2.5 Polipropileno (PP)

Este polímero se genera al polimerizar gas propileno de alta pureza que se recupera de los desechos gaseosos en plantas de olefinas y refinadoras (Ebewele, 2000). Su monómero se observa en la Figura 4.4.

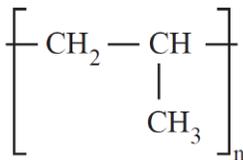


Figura 4.4. Estructura química del polipropileno

Fuente: (Ebewele, 2000)

El polipropileno tiene alta resistencia a la tensión, compresión y corte, buenas propiedades de aislamiento eléctrico y térmico y tiene una baja permeabilidad al vapor de agua y a las grasas.

Durante su producción, al forzar la estructura cristalina del material a ordenarse, se obtiene polipropileno bi-orientado (BOPP). La principal característica que posee es que evita la entrada y salida de humedad, por lo que sus aplicaciones se orientan principalmente al mercado masivo de galletas, snacks, chocolates, alfajores y caramelos (Papaleo, 2010). Este material se encuentra comercialmente en su forma natural o se lamina para requerimientos específicos obteniendo empaques perlados (opacos) o metalizados.

Por las características descritas anteriormente, es utilizado en burbujas contenedoras de frutas y vegetales, así como bolsas y láminas para el empaque de dulces, vegetales, entre otros. Es especialmente útil en el empaque de productos secos como lo son galletas y productos de panificación. En el Cuadro 4.1, se presentan las principales propiedades de este polímero.

4.2.6 Poliestireno (PS)

El poliestireno es el producto de la polimerización del monómero estireno que se observa en la Figura 4.5. Este es un polímero lineal que es bastante resistente a los álcalis, haluros de ácidos, agentes oxidantes y reductores, es muy estable y su fluidez lo hace ideal para moldeo por inyección (Billmeyer, 2004).

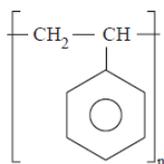


Figura 4.5. Estructura química del poliestireno

Fuente: (Ebewele, 2000)

Es un buen aislante eléctrico, posee una alta rigidez y posee buena resistencia a altas temperaturas (Chin, 2010). Se utiliza comúnmente en envases moldeados por inyección para productos como yogurt y en bandejas de estereofón en su forma expandida para el empaque de carnes, frutas y vegetales frescos. Algunas de sus principales propiedades se muestran en el Cuadro 4.1.

4.2.7 Poliamida (PA)

Las poliamidas se conocen también con el término genérico nylon. Se caracterizan por tener un grupo amida en su monómero (ver Figura 4.6). Entre las poliamidas, el nylon 6,6 y el nylon 6 son de mayor importancia comercial ya que ofrecen un buen balance entre sus propiedades y el costo económico (Ebewele, 2000).

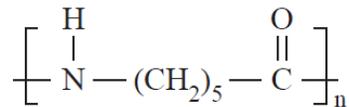


Figura 4.6. Estructura química del policaprolactama (nylon 6)

Fuente: (Ebewele, 2000)

El nylon 6 posee alta resistencia contra aceites, grasas, solventes, sustancias alcalinas y resiste un amplio rango de temperaturas, por lo que se utiliza para láminas y mallas para empaque de frutas y verduras (PAFA, 2011). Se utiliza en la fabricación de bolsas para empaque al vacío. Sin embargo, posee una alta tasa absorción de agua por lo que no es recomendable para el empaque de productos húmedos. En el Cuadro 4.1 se observan en detalle las propiedades correspondientes al nylon 6.

4.2.8 Alcohol Etilenvinílico (EVOH)

El polialcohol vinílico, etileno alcohol de vinilo o alcohol etilenvinílico posee una estructura cristalina muy similar a la del polietileno, donde el grupo CHOH (ver Figura 4.7) de este puede encajar en lugar de un grupo CH₂ del polietileno (Billmeyer, 2004).

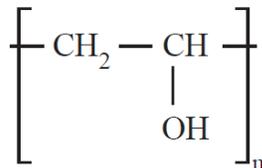


Figura 4.7. Estructura química del alcohol etilenvinílico

Fuente: (Ebewele, 2000)

Este material posee excelentes propiedades como barrera de gases, tiene buena resistencia contra grasas, alta rigidez y alta fuerza de impacto, pero presenta un alto porcentaje de

absorción de agua por lo que es útil en el empaque de alimentos libres de humedad. En el mercado, se utiliza para el embalaje de frutas, quesos, salsas, yogurts, etc. En capas de empaques laminados, se utiliza para productos que requieren atmósfera modificada como carnes y vegetales. En el Cuadro 4.1 se detallan algunas propiedades de este polímero.

4.2.9 Poliuretano (PU)

Poliuretano es el nombre genérico dado a los polímeros que presentan un grupo uretano en sus cadenas, como se observa en la Figura 4.8.

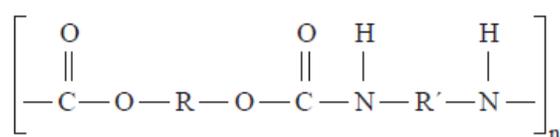


Figura 4.8. Estructura química del poliuretano

Fuente: (Ebewele, 2000)

El poliuretano presenta alta resistencia mecánica, a la abrasión, a los gases, a las grasas, a los aceites y a los hidrocarburos (Ebewele, 2000). Es un material poroso y resistente. Se utiliza principalmente a bajas temperaturas, menores a la ambiente (Bayer, 2008). Actualmente, es usado para empaçar carnes, verduras y frutas en bandejas. La espuma de poliuretano sirve como material para el embalaje de distintos productos. En el Cuadro 4.1 se presentan sus principales propiedades.

4.2.10 Celofán

Polímero natural derivado de la celulosa que posee muy buenas propiedades de sellado al calor (ITDG, 1999). Se utiliza principalmente para bolsas de empaque. Es una película fina similar al papel, transparente, flexible, resistente a la tracción pero muy fácil de cortar y es aislante de la humedad (Nieto A., 2011). Este material es utilizado en envases para carnes y alimentos húmedos, ya que evita la transmisión de agua al exterior, chocolates y confitería, entre otros.

Actualmente, el término celofán se usa comúnmente para referirse a diversas películas plásticas, principalmente de polipropileno, material que ha sustituido al celofán por sus menores costos de fabricación. Algunas de sus principales propiedades se muestran en el Cuadro 4.1.

En Costa Rica, hay tres laboratorios para la determinación o medición de características de polímeros. El **Laboratorio de Polímeros de la Universidad Nacional (POLIUNA)**⁵ realiza pruebas para la medición de propiedades en estos como lo son tensión, compresión, deformación, flexión, análisis térmicos, absorción de agua, gramaje, densidad, grosor de películas, resistencia a agentes químicos, resistencia al impacto, transmisión de vapor, tensión superficial y viscosidad. El **Laboratorio de Polímeros del Centro Nacional Especializado en Tecnología de Materiales del Instituto Nacional de Aprendizaje**⁶ realiza las pruebas de índice de fluidez, porcentaje de humedad, densidad, pruebas mecánicas, dureza shore A y D, pruebas de impacto, temperatura de deformación bajo carga (HDT) y temperatura de reblandecimiento (VICAT), espectroscopia infrarroja, calorimetría de corrido diferencial y análisis termogravimétricos. Por último, en el **Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT)**⁷, se realizan análisis y caracterización de materiales. Entre las pruebas que realizan se encuentra el estudio de su microestructura mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) y el análisis térmico de materiales mediante termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido. Adicionalmente, realizan modelos matemáticos y simulación de: sistemas fisicoquímicos, propiedades mecánicas de materiales y estructuras nanométricas, procesos de fabricación de materiales micro y nanométricos, nanofluidos, dispositivos micro/nanoelectromecánicos, fenómenos cuánticos en materiales y elementos nanoestructurados y nanolitografía.

4.3 Impacto Ambiental

Para evaluar el impacto ambiental de un material se deben tomar en cuenta algunos parámetros, como el consumo de recursos, consumo de energía, producción total de desechos, emisiones de gases de invernadero, descargas de agua y desecho de contaminantes de aire regulados (Rudnik, 2008).

Muchos de los empaques poliméricos usados actualmente no son biodegradables por lo que la acumulación de los residuos de estos es un creciente problema. Estos empaques corresponden a gran parte de los desechos sólidos domésticos y en países industrializados un 4% no son

⁵ Sitio web: <http://www.poliuna.una.ac.cr/> Tel: 2277-3557 / 2277-3355

⁶ Tel: 2210-6225 / 2210-6207

⁷ Sitio web: <http://www.cenat.ac.cr/gestion-ambiental/lanotec/resena> Tel: 2519-5838

reciclables, lo que representa miles de toneladas. A nivel mundial, aproximadamente un 60% de los desechos que se encuentran en las costas son materiales poliméricos. El mayor problema radica en el amplio período de descomposición que poseen, donde en promedio tardan unos 240 años en degradarse (Carranza, Duffo, & Farina, 2010).

Entre las medidas tomadas para contrarrestar la acumulación se encuentra la incineración, la cuál es sumamente problemática ya que algunos polímeros emiten gases tóxicos al ser quemados, especialmente en el caso del PVC, el cual libera cloruro de hidrógeno. Algunas compañías han optado por producir empaques más delgados lo que únicamente atenúa el problema ya que se producen desechos pero en menor cantidad.

En 1988, tras notar que el reciclaje ayuda a disminuir el consumo de petróleo, la SPI (Plastics Industry Trade Association) creó un sistema de numeración de resinas reciclables para ayudar a preservar los recursos naturales separando y reciclando los materiales poliméricos (SPI, 2012). El sistema fue posteriormente lanzado como una norma ASTM (D7611 / D7611M), para estandarizar el sistema a nivel mundial y favorecer su aplicación.

A pesar de los esfuerzos de algunas compañías por reducir el problema mediante campañas de reciclaje, en el 2008 las cifras de material reciclado alcanzaron valores tan bajos como un 23% del total de desechos producidos (Chin, 2010). Esto es originado por el hecho que para reutilizar los materiales reciclados se deben cumplir ciertos estándares de calidad e inocuidad y por esta razón, la mayoría de los centros de reciclaje solo reciben algunos tipos de plástico que son más fáciles de tratar como los son el PET y el HDPE.

Otra solución planteada es el uso de “plásticos oxo-biodegradables”. Consiste en agregar un aditivo en la formulación de la resina polimérica en una cantidad determinada según la vida útil requerida del empaque, lo que hace que se degrade en unos pocos años. Según CACIA (2009), este tipo de material genera un menor impacto ambiental ya que el aditivo se encarga de desintegrarlo y reincorporarlo al suelo mediante dos etapas, la primera consiste en la fragmentación por oxidación y la segunda es la degradación.

Empresas que utilizan este método aseguran que no hay migración del aditivo hacia los alimentos según pruebas de laboratorio realizadas. El aditivo conocido como d2w cumple con

las normas FDA (Food and Drug Administration) para su uso con alimentos (Peregrine, 2013). Sin embargo, algunos ambientalistas resaltan que los materiales oxo-biodegradables contienen aditivos (d2w) que rompen el plástico en pequeñas partículas que se quedan en el ambiente, potencialmente causando mayor daño a largo plazo (Todorova, 2013).

Existen los “plásticos biodegradables” que se generan a partir de fibras naturales pero su costo es mucho mayor que el de usar resinas tradicionales y se desvían materias primas que servirían para alimentación del ser humano y los animales.

Actualmente existen métodos de reciclaje que permiten que se obtengan las características de la resina virgen. En Costa Rica, la compañía New World Recycle utiliza los envases de polietileno tereftalato obtenidos de distintos centros de acopio para generar resina reciclada con el nombre de RPET que posteriormente se utiliza para la formulación de nuevos productos, incluidos los envases de productos alimentarios y no alimentarios.

4.4 Empaques poliméricos en Costa Rica

El uso de empaques poliméricos en el país está en constante crecimiento, esto por el desarrollo de nuevas tecnologías de empaque, así como alternativas de reuso y reciclaje por el crecimiento de la conciencia ecológica en el país. A continuación se presenta la oferta de empaques poliméricos en el país, ya sean de producción local o importados.

4.4.1. Oferta

El término oferta, para efectos del presente documento, se refiere a “un producto puesto a la venta” (RAE, 2001). En esta sección, se establece la oferta de empaques poliméricos en el mercado costarricense tanto en empaques producidos a nivel nacional como en empaques importados del exterior.

Empaques importados

A partir del portal estadístico de comercio exterior de PROCOMER, se obtuvieron datos comparativos de las importaciones mensuales de los diferentes tipos de empaques poliméricos a través del año 2013, así como de las importaciones anuales para los años 2012 y 2013. Cabe

destacar que los datos no se presentan en unidades del sistema internacional para no variar los valores obtenidos de la fuente.

Cuando un artículo se tasa CIF significa que el precio de venta incluye el coste de la mercancía, el del transporte y el seguro marítimo. Este valor coincide con el valor en la aduana de importación de la mercancía (WTSC, 2010).

En el Cuadro 4.2 se muestran los ingresos en CIF obtenidos mediante la importación de empaques poliméricos en el primer semestre del 2013. Se observa que por producto, las cantidades varían poco con el paso de los meses pero se observa una tendencia a mayores importaciones durante el mes de abril y menores durante los meses de febrero y marzo.

Cuadro 4.1. Ingresos provenientes de empaques importados durante el primer semestre del 2013 en valor CIF

Producto	Valor CIF (miles de US\$)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	14 655,83	12 184,48	11 759,63	17 240,06	13 964,73	13 759,27
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	1815,30	1292,51	1374,83	1741,87	1652,67	1295,98
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	1614,69	1579,15	1296,89	1951,54	1742,09	1938,57
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	77,71	82,05	62,73	69,87	176,65	73,04
Sacos y bolsas de los demás polímeros	2000,68	2077,09	2814,75	2676,55	2165,30	2911,68
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	1889,50	2244,24	1875,35	2217,88	2409,00	2189,99
Cajas, cajones, jaulas y similares	3283,01	2885,66	2867,14	3275,51	3095,24	3018,90
OTROS	721,14	1051,15	1060,37	1192,80	1386,56	1128,27
TOTAL	26 057,87	23 396,32	23 111,70	30 366,08	26 592,24	26 315,70

Fuente: (PROCOMER, 2014)

Estos ingresos incluyen las importaciones de empaques poliméricos para los distintos sectores de la industria, es decir, no es información exclusiva para la industria de alimentos. Sin embargo, los datos ofrecen un panorama de los empaques disponibles en el mercado.

En el caso del segundo semestre del 2013, como se observa en el Cuadro 4.3, nuevamente por producto se importan cantidades similares a través de los meses, pero en este caso, se mantienen en valores mayores a las del primer semestre. Se observa una tendencia a mayores importaciones durante el mes de agosto y menores durante el mes de septiembre.

Cuadro 4.2. Ingresos provenientes de empaques importados durante el segundo semestre del 2013 en valor CIF

Producto	Valor CIF (miles de US\$)					
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	15 377,33	16 279,90	14 101,26	17 851,71	22 986,77	12 355,15
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	1819,69	21671,69	1266,49	1579,55	1707,20	1592,18
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	1723,62	1584,86	1711,91	2178,51	1760,37	1762,27
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	69,93	119,56	103,68	97,29	47,18	44,83
Sacos y bolsas de los demás polímeros	2058,01	2066,40	1434,65	2051,75	2301,92	2184,22
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	1875,96	2469,62	2115,32	1867,46	2183,69	1658,64
Cajas, cajones, jaulas y similares	2609,81	2715,18	2459,49	3368,23	2933,32	3489,26
OTROS	975,79	993,13	856,77	1446,16	1014,11	1017,60
TOTAL	26 510,14	47 900,35	24 049,57	30 440,66	34 934,55	24 104,14

Fuente: (PROCOMER, 2014)

De los datos anteriores se observa que los productos con mayores importaciones a nivel monetario son las cajas, cajones, jaulas y similares que se utilizan para transportar y estibar tanto materias primas como productos terminados, es decir, como empaque secundario. Las bombonas, botellas, frascos y artículos similares son las que obtienen las menores importaciones a nivel monetario. Esto se debe al bajo costo de este tipo de productos en el país.

En el Cuadro 4.4 se muestran los ingresos por importaciones de empaques poliméricos en los años 2012 y 2013. Mediante estos datos se determina que con la excepción de sacos, bolsas y cucuruchos de polímeros distintos al polietileno y cajas, cajones, jaulas y similares, todos los

productos aumentaron sus importaciones de un año al siguiente, lo que se debe, como se mencionó anteriormente, al creciente uso de estos materiales en empaque.

Cuadro 4.3. Ingresos provenientes de empaques importados durante los años 2012 y 2013 en valor CIF

Producto	Valor CIF (miles de US\$)	
	2012	2013
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	158 291,86	182 516,12
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	17 988,06	20 844,47
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	966,80	1024,52
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	26 207,40	26 743,00
Sacos y bolsas de los demás polímeros	26 896,18	24 996,65
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	35 557,57	36 000,75
Cajas, cajones, jaulas y similares	14 332,24	12 843,85
OTROS	19 691,35	38 809,96
TOTAL	299 931,46	343 779,32

Fuente: (PROCOMER, 2014)

Visto de otra manera, en los Cuadros 4.5 y 4.6 se muestran las toneladas mensuales importadas durante el año 2013, donde se observa un comportamiento equivalente a los Cuadros 4.2 y 4.3. En el Cuadro 4.7, se muestran las importaciones anuales en toneladas para los años 2012 y 2013.

Cuadro 4.4. Toneladas importadas de empaques durante el primer semestre del 2013

Producto	Toneladas Mensuales (ton)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	3815,59	3261,00	2977,32	4451,27	3684,71	3569,46
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	267,15	257,15	256,27	358,19	297,63	228,92
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	320,48	314,23	415,20	432,59	753,86	400,77
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	14,49	22,40	10,37	15,18	23,74	13,60
Sacos y bolsas de los demás polímeros	649,84	743,40	945,52	940,38	714,32	1041,33
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	371,83	540,03	466,57	396,89	500,80	491,30
Cajas, cajones, jaulas y similares	756,60	730,91	742,72	817,07	835,94	821,84
OTROS	235,77	471,61	400,20	506,83	732,45	574,87
TOTAL	6431,76	6340,73	6214,17	7918,40	7543,44	7142,07

Fuente: (PROCOMER, 2014)

Cuadro 4.5. Toneladas importadas de empaques durante el segundo semestre del 2013

Producto	Toneladas Mensuales (ton)					
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	4371,03	4071,57	3770,24	4596,27	3933,60	3421,75
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	338,60	230,60	199,04	287,89	287,51	311,62
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	349,10	329,51	450,35	538,53	359,84	314,18
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	10,88	15,17	16,37	19,67	10,30	12,23
Sacos y bolsas de los demás polímeros	676,06	632,19	504,86	678,91	790,05	734,29
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	364,93	488,46	372,35	309,05	453,70	378,00
Cajas, cajones, jaulas y similares	670,80	1110,34	741,17	879,19	802,30	903,19
OTROS	465,11	439,92	394,67	479,60	559,06	426,18
TOTAL	7246,51	7317,76	6449,05	7789,09	7196,36	6501,45

Fuente: (PROCOMER, 2014)

Cuadro 4.6. Toneladas importadas de empaques durante los años 2012 y 2013

Producto	Toneladas Anuales (ton)	
	2012	2013
Placas, láminas, hojas, tiras y demás formas planas	42 114,19	45 923,80
Tapones, tapas y demás dispositivos de cierre	3148,27	3320,58
Bobinas, carretes, canillas y soportes similares	3863,80	4978,63
Bombonas, botellas, frascos y artículos similares	181,08	184,41
Sacos y bolsas de los demás polímeros	8678,85	9051,16
Sacos y bolsas de polímeros de etileno	5474,73	5133,91
Cajas, cajones, jaulas y similares	8972,39	9812,05
OTROS	5159,04	5686,26
TOTAL	77 592,36	84 090,79

Fuente: (PROCOMER, 2014)

En este caso, los productos con mayores importaciones a nivel cuantitativo son las placas, láminas, tiras, hojas y demás formas planas que se utilizan para envolver una gran variedad de productos ya sean con bandejas o sin estas. Las bombonas, botellas, frascos y artículos similares son las que obtienen las menores importaciones también a nivel cuantitativo. Esto se

debe a la alta producción a nivel nacional de este tipo de productos, ya que son ampliamente utilizados especialmente en la industria de producción y envasado de bebidas. Las principales exportaciones del sector plástico en el país corresponden a manufacturas de botellas y dispositivos de cierre, donde el 36% de las exportaciones en 2010 correspondió a este tipo de productos (Calderón, Chacón, & Gutiérrez, 2011).

Empaques producidos en el país

En el año 2004, Proexport Colombia realizó un estudio de mercado del sector de empaque y envase de Costa Rica del cual se obtuvo información con respecto a la situación de empaque plástico en el país. En el Cuadro 4.8 se presenta el consumo de materias primas poliméricas, el cuál está liderado por polietileno, ya sea de alta o baja densidad con aproximadamente un 55 % del consumo para el 2004. Este es seguido por el PVC con aproximadamente un 24 %, sin embargo, este es más utilizado en el país para la fabricación de tuberías y accesorios que para empaques. La materia prima menos importada es el poliestireno con menos de un 5 %. En los Cuadros A.1 y A.2 del apéndice, se muestran la producción nacional del sector plástico y el consumo de la industria de envasado para dicho año, respectivamente.

Cuadro 4.7. Consumo de materias primas poliméricas en el país para el año 2004

Tipo	Ton mensual	Ton Anual
HDPE y LDPE	7200	86 400
PP	1510	18 120
PS	510	6120
PVC	3200	38 400
PET	800	9600

Fuente: (Proexport Colombia, 2004)

Los datos anteriormente suministrados para el año 2004 fueron obtenidos por Proexport Colombia a partir de información de la Asociación Costarricense de la Industria Plástica (ACIPLAST), sin embargo, no se lograron obtener datos actualizados porque las empresas del sector plástico actualmente no suministran información sobre los empaques producidos a ACIPLAST.

Para tener una idea de la importancia de los empaques poliméricos en la industria de alimentos de Costa Rica, se pueden contabilizar la cantidad de industrias que producen y/o distribuyen este tipo de empaques en el país. En el Cuadro 7.9 se presenta un directorio con las principales empresas de esta área de la industria.

4.5 Criterios de Selección de Empaques

A los empaques se les atribuyen cuatro funciones: protección, comunicación, conveniencia y almacenamiento. Es decir, el empaque debe proteger el alimento del ambiente, comunicarle al comprador las características e ingredientes presentes en el alimento, ser conveniente a la hora de consumir el producto y almacenar productos de varios tamaños y formas (Yam, Takhistov, & Miltz, *Intelligent Packaging: Concepts and Applications*, 2005).

El empaque cumple una gran función en el mercadeo de los productos, ya que los humanos son altamente visuales, es decir, procesan gran cantidad de información a través de la vista. Por esta razón, la mayoría de los diseños de los empaques son muy llamativos (López, 2011).

A la hora de elegir el material de empaque correcto para determinado alimento, se debe tomar en cuenta una serie de características descritas a continuación (Catalá & Gavara, s.f.).

4.5.1. Apariencia del empaque:

Según el mercado al que se dirige el producto se debe escoger un empaque que sea seguro y llamativo. Este debe considerar el uso destinado del producto, ya sea industrial o doméstico, y la cantidad de producto a almacenar.

La apariencia del empaque está relacionada con las propiedades físicas del producto a almacenar en este, algunas de las cuales son forma, color, tamaño, textura, frescura, brillo, estado (líquido o sólido), sensibilidad a la luz y sólidos disueltos. Dichas propiedades definen si se requieren empaques transparentes para apreciar el producto, empaques opacos o rígidos para protegerlo e incluso el tipo, ya sean botellas, bolsas o recipientes.

4.5.2. Interacción empaque-producto:

La interacción que ocurre entre el material de empaque y el producto contenido es fundamental en la determinación de calidad y seguridad. Cambios en el producto debidos a la absorción de aromas y la transferencia de sabores no deseados del empaque al alimento son mecanismos importantes de deterioro (Hotchkiss, 1997).

Según Fellows (2000), los principales tipos de interacción empaque – alimento en empaques poliméricos son:

Migración de plastificantes, pigmentos, iones metálicos y otros compuestos hacia el alimento: la migración de sustancias desde el material de empaque hacia el alimento es el principal mecanismo de contaminación por lo que la FDA establece límites para la cantidad y naturaleza de las sustancias que migran bajo las condiciones propuestas de uso (Robertson G. L., 1992). Los principales componentes migrantes de los empaques poliméricos se detallan en el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.8. Componentes migrantes de materiales poliméricos de empaque a alimentos

Material	Componente Migrante	Alimento
PS	Estireno	Comida preparada, lácteos, agua, bebidas calientes y frías, aceites, productos cárnicos
	Monoestireno	Lácteos
PS + ABS + papel encerado	Estireno/etilbenceno	Lácteos
Poliéster	Hidrocarburos minerales	Lácteos
PVC	Benceno	Aceite de oliva
	Dietil adipato (DEHA)	Queso, comidas de microondas, pan, aceite de oliva, carnes
LDPE, HDPE, PP (empaques para microondas)	Diocil adipato (DOA)	Queso, embutidos
	Irganox 1010	Líquidos en alimentos
PP	Dietil adipato (DEHA)	Lácteos
	2-Decanona	Salsa de queso
Coberturas enceradas	Propileno	Yogurt
	Hidrocarburos minerales	Queso, embutidos
ABS	Hidrocarburos minerales	Lácteos
LDPE	Naftaleno	Leche
PC	Bifenol A (BPA)	Líquidos en alimentos

Fuente: (Sablani & Rahman, 2007)

Como se observa en el cuadro anterior, los alimentos mencionados son más propensos a la migración de componentes desde el empaque por lo que se debe tener especial cuidado al elegir los materiales de empaque para estos.

La migración está regida por la difusión del aditivo en la matriz del material y su solubilidad en el alimento. Algunos de los factores que afectan la migración de sustancias son (Caballero, 2008):

- a. Naturaleza y estructura química de la sustancia: implica mayor o menor interacción.
- b. Tamaño de la sustancia: al aumentar el peso molecular disminuye la migración.
- c. Concentración de la sustancia en el polímero.
- d. Composición y propiedades del alimento: la migración es mucho mayor en alimentos grasos ya que los monómeros son compuestos orgánicos insolubles.
- e. Temperaturas: las altas o bajas temperaturas durante el proceso y el almacenamiento pueden generar el deterioro del material y promover la migración de sustancias.
- f. Tiempo de contacto (vida útil): conforme aumenta el tiempo de contacto del alimento con el envase, aumenta la probabilidad de que este transmita sustancias no deseadas al alimento.
- g. Relación entre la superficie de contacto y el volumen o la masa del alimento contenido: en envases pequeños, esta relación aumenta, lo que favorece la migración.

Migración de grasas del alimento hacia el empaque: la transmisión de grasas desde el producto hacia el empaque puede generar un aspecto desagradable en la superficie del material, alterar sus propiedades mecánicas y térmicas, así como reducir la calidad del alimento.

Interacción del empaque y el alimento bajo condiciones de procesamiento: hay que tener en cuenta que el envase sufre junto con los alimentos algunos de los procesos de elaboración y conservación como lo son esterilización, congelación, descongelación, irradiación y

microondas. Estos procesos influyen sobre la migración de componentes del envase al producto y viceversa (Caballero, 2008).

Las propiedades químicas del alimento, como lo son la composición y el pH pueden generar reacciones no deseadas entre el producto y algunos componentes de los materiales de empaque.

4.5.3. Interacción empaque-ambiente:

La capacidad que tiene un empaque para proteger el alimento contenido se ve afectada por factores ambientales como lo son la temperatura, presión y humedad relativa. Estos factores pueden favorecer la transferencia de masa entre el ambiente y el producto a través del empaque. Para diferentes tipos de empaques se tienen distintos niveles de transferencia de masa que pueden alterar el producto por permeación de gases, agua, grasas y otras sustancias, que generan un cambio en la composición del producto, haciéndolo más susceptible a la descomposición. En el caso del agua, la permeación de vapor desde el ambiente hacia el alimento, aumenta el a_w ⁸ en el interior del empaque, lo que puede potenciar el crecimiento de microorganismos, acelerar las reacciones de deterioro e incluso disminuir la calidad del producto por cambios en su textura. La protección del alimento ante estas transmisiones depende tanto de la integridad del empaque como de la permeabilidad que presenta (Robertson G. L., 1992).

La transmisión de luz (radiación) en alimentos fotosensibles genera reacciones fotoquímicas que pueden alterar su color, causar pérdidas de vitaminas, fotólisis de aminoácidos, oxidación de lípidos, entre otros. Los alimentos susceptibles a la luz se deben disponer en envases opacos o envases que filtren las longitudes de onda nocivas (Hernández, 2010).

Por otro lado, es relevante que el empaque sea una barrera a microorganismos, ya que los alimentos poseen características que los hacen más susceptibles a la contaminación. Esto

⁸ El término actividad del agua o A_w establece el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de un alimento y es una medida del agua disponible para llevar a cabo reacciones químicas así como para el desarrollo microbiano (Bolaños, Lutz, & Herrera, 2003).

genera el requerimiento de empaques asépticos, cierres y sellos, etc.

4.5.4. Vida útil del producto:

El término vida útil se refiere al tiempo que le toma a un producto alcanzar la descomposición. Un producto se considera descompuesto cuando ya no es aceptable para el consumo. En la mayoría de los casos, esto implica cambios en el sabor, olor, textura y otras propiedades sensoriales de los alimentos, pero en los casos más severos, el producto se puede convertir en un problema de seguridad que puede enfermar al consumidor e incluso causar la muerte (Steele, 2004). El empaque elegido debe contribuir con la extensión de este período y debe tener impresa de manera visible la fecha de expiración del producto.

4.5.5. Requerimientos de mercado:

Los requerimientos de mercado son las características que los compradores evalúan al elegir una presentación del producto. Algunos de estos son información nutricional impresa, etiquetado, funcionalidad y empaques reciclables o reutilizables.

4.5.6. Transporte y distribución comercial:

Una de las principales funciones de los empaques es preservar el producto mientras se encuentre en tránsito. El empaque debe disminuir daños intencionales, como alteraciones maliciosas, y daños no intencionales, como aplastado o quebrado (López M. , 2011).

4.5.7. Costos:

Entre los componentes de los costos de empaque se pueden mencionar el material, el proceso de fabricación y equipo necesario y la mano de obra. Se debe tomar en cuenta que las dimensiones del empaque definen la cantidad de productos que se pueden transportar y contener en bodega, es decir, empaques más pequeños implican tarimas con más productos lo que aumenta la cantidad de empaques por camión y/o estante en bodega. Estas actividades representan el 58% de los costos totales de operación. Por esta razón, el diseño del empaque debe ser eficiente y tomar en cuenta aspectos tanto de manufactura como de logística (Rodríguez I. , 2011).

4.5.8. Disponibilidad:

Se refiere a la cantidad de material disponible para ser comprado en un momento determinado. Algunos materiales de empaque escasean durante épocas del año por lo que se debe analizar si es rentable almacenar grandes cantidades de empaques para suplir la demanda durante esas épocas o si se debe elegir otro material.

4.5.9. Posible reutilización, reciclaje e impacto ambiental:

Al elegir el empaque requerido, se debe tomar en cuenta el efecto que tiene en el ambiente la producción de este, así como el tratamiento posterior al uso que debe recibir el material, ya sea para desecharlo, reciclarlo o reutilizarlo.

4.6. Normas y Legislación

El empaque, al utilizarse en la industria de alimentos, debe seguir rigurosas normas y cuidados para asegurar la calidad, la inocuidad y la protección de los alimentos previo a su consumo. En Costa Rica no existe una legislación ni una normativa vigente que controle las características, parámetros y procedimientos del empaque de alimentos, sino que rige un reglamento a nivel centroamericano.

El “Reglamento Técnico Centroamericano de la Industria de Alimentos y Bebidas Procesados”, RTCA 67.01.33:06, donde se mencionan las siguientes características con respecto al empaque y/o envasado: (MINECO; CONACYT; MIFIC; SIC; MEIC, 2010)

- a) Todo el material que se emplee para el envasado debe almacenarse en lugares aptos para tal fin y en condiciones de sanidad y limpieza.
- b) El material debe garantizar la integridad del producto que ha de envasarse, bajo las condiciones previstas de almacenamiento.
- c) Los envases o recipientes no deben ser utilizados para otro uso diferente para el que fue diseñado.
- d) Los envases o recipientes deben inspeccionarse antes del uso, a fin de tener la seguridad de que se encuentren en buen estado, limpios y desinfectados.

- e) En los casos en que se reutilicen envases o recipientes, estos deben inspeccionarse y tratarse inmediatamente antes del uso.
- f) En la zona de envasado o llenado solo deben permanecer los recipientes necesarios.

Para el caso del etiquetado de alimentos, el decreto ejecutivo N° 26012-MEIC que corresponde al “Reglamento Técnico de Etiquetado de los Alimentos Preenvasados”, indica las características y la información obligatoria que debe aparecer en las etiquetas de los alimentos.

En cuanto a los desechos, en el país existe el “Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios”, N° 36093-S, en el cuál se establece que: (Poder Ejecutivo, 2011)

La recuperación de los residuos sólidos valorizables tiene como propósitos principales:

- a) Evitar la contaminación, la generación de gases de efecto invernadero, la afectación a la salud de la población y otros impactos negativos causados por el mal manejo de los residuos.
- b) Reducción de la presión sobre los recursos naturales mediante el aprovechamiento racional de los mismos.
- c) Reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer finalmente; con lo cual se reducen costos y se aumenta la vida útil de los sitios de disposición.
- d) Promover la competitividad mediante mejores prácticas, nuevas alternativas de negocios y generación de empleos.

Este reglamento indica que los importadores, productores de bienes y servicios, comercializadores, distribuidores, las instituciones públicas y privadas, deben encargarse de realizar lo necesario para que los residuos de este tipo que generen, sean separados para su valorización, en la medida que exista en el país o en el extranjero una solución aceptable. Estos productores, importadores ó distribuidores de bienes y servicios, están obligados a recibir los materiales de empaque y embalaje de los artículos y son responsables de su almacenamiento y transporte al sitio de recuperación o tratamiento.

Los artículos 64, 65 y 67 indican que se prohíbe el tratamiento y la disposición final de residuos sólidos ordinarios en sitios no aprobados por el Ministerio de Salud, se prohíbe

arrojar residuos de cualquier tipo, en vías públicas, parques y áreas de esparcimiento colectivo y queda prohibida la disposición de residuos sólidos ordinarios en los cuerpos receptores definidos en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, así como caños, alcantarillas, vías y parajes públicos y propiedades públicas y privadas no autorizadas para tal fin.

Debido a la escasez de legislación en materia de empaque de alimentos en Costa Rica, se procedió con la revisión de normas extranjeras para establecer un punto de partida para el país. Las normas japonesas de empaque de alimentos se dividen en cuatro categorías, las cuáles se describen a continuación: (Japan External Trade Organization , 2007)

1. **Normas legales relacionadas con el reciclado y las medidas ambientales:** incluyen leyes como la “Ley básica de Promoción de la Formación de la Sociedad del Reciclado”, “Indicación para la recuperación clasificada”, “Ley de Promoción del Uso Efectivo de Recursos” y la “Ley de Reciclado de Envases y Empaques”. Estas se establecen con el fin de evitar contaminación innecesaria e incluyen aspectos como normas de disposición de desechos, acondicionamiento de facilidades para el tratamiento de estos, reducción, reutilización y reciclado, restricciones a la generación de productos secundarios, materiales y métodos de reciclaje.
2. **Ley de responsabilidad por los productos:** esta ley establece la responsabilidad de los productores en caso de daños a la vida, la salud y los bienes de las personas, debidos a defectos en los productos fabricados. Al ser función del empaque proteger el producto, los defectos de empaque se relacionan con defectos en el contenido y por lo tanto el productor del empaque se ve responsabilizado también.
3. **Normas legales relacionadas con los materiales de empaque, higiene y seguridad en la fabricación de envases y empaques:** el propósito de estas normas es asegurar que bajo cualquier circunstancia, lo que ocurra con el empaque no afecte al consumidor. Incluyen la “Ley de Sanidad Alimentaria” y en el control sanitario, se fabrican los empaques tomando en cuenta normas ISO (Organización Internacional de Normalización), BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) y HACCP (Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control). Adicionalmente, los diferentes sectores aplican normas voluntarias.

- 4. Normas legales relacionadas con la indicación de alimentos y medicamentos:** incluyen todo lo referente a etiquetado de productos. Incluyen la “Ley de Sanidad Alimentaria”, “Ley de JAS” (Normas Agrícolas Japonesas), “Ley de Representación Exagerada” y la “Ley de Mejoramiento de la Salud”.

Las normas españolas se dividen en tres grupos: (Abdullah J., 2007)

- 1. Normas de Derecho Alimentario:** tratan las disposiciones para la protección de la salud del consumidor, por lo tanto incluyen variables como composición, etiquetado, envasado, aditivos, aromas y materiales en contacto con el alimento. Específicamente en empaque las normas incluyen “Sustancias permitidas para la fabricación de materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos”, “Materiales en contacto con los alimentos” y el “Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la higiene de los productos alimenticios”.
- 2. Normas Comunes de Comercialización:** el propósito de estas normas es eliminar del mercado productos con calidad deficiente.
- 3. Normativa Medioambiental:** indica la recuperación de envases y embalajes.

A partir de estas leyes y normativas se pueden determinar los diferentes aspectos que se podrían regular en los empaques utilizados en la industria.

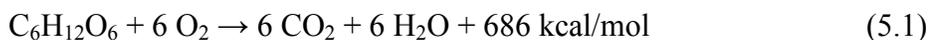
Como se vio en el presente capítulo, los materiales poliméricos son una buena alternativa en el empaque de alimentos. Estos presentan una gran variedad de propiedades que ayudan a la hora de elegir el material para los diferentes tipos de alimentos. En el siguiente capítulo se analizan las propiedades de distintos tipos de alimentos, así como los tipos de empaques poliméricos que se adaptan a ellos.

CAPÍTULO 5: EMPAQUE DE ALIMENTOS

El tipo de empaque a utilizar para un alimento, como se mencionó en capítulos anteriores, varía según las propiedades de este, así como el mercado al que se dirige, el grado de protección que requiera, entre otros. Sin embargo, la interacción que el alimento presenta con el empaque y a su vez con el ambiente es un aspecto crítico a considerar a la hora de elegir el empaque ya que si existe interacción, se puede poner en riesgo no solo la vida útil y la protección del producto, sino también la salud de quien lo consume. De esta manera, se deben tomar en cuenta las propiedades del alimento a empacar para elegir el material que mejor preserva el alimento. A continuación se describen las propiedades de algunos alimentos y los materiales utilizados para su empaque.

5.1. Empaque para productos agrícolas mínimamente procesados

Los productos agrícolas mínimamente procesados son alimentos perecederos que mantienen los atributos y calidad similares a las del producto fresco y están compuestos por células y tejidos vivos que continúan así hasta el momento de ser consumidos (Saborío, 2014). Mientras están en la naturaleza, los productos agrícolas respiran absorbiendo oxígeno de la atmósfera y liberando dióxido de carbono, agua y energía, como se observa en la Ecuación 5.1. Las frutas y vegetales frescos continúan respirando aún después de la cosecha, por lo que requieren consumir oxígeno durante su procesamiento y comercialización. En la respiración la producción de energía proviene de la oxidación de las propias reservas de almidón, azúcares y otros metabolitos. Una vez cosechado, el producto no logra reemplazar las reservas que se pierden por lo que la velocidad con que disminuyen es un factor en la vida útil (FAO, s.f.).



Durante el proceso se genera calor de respiración, el cual debe ser disipado de alguna manera, o de lo contrario el producto se calentará. La mayoría de las frutas y vegetales frescos precortados se conservan mejor a temperaturas menores a los 5 °C. Cuando la temperatura aumenta, entre 10 °C y 40 °C, la tasa de respiración se acelera rápidamente dando como resultado una reducción de la vida útil del producto. La tasa de respiración se acelera porque

consiste en una serie de reacciones cuya constante de velocidad de reacción se describe mediante la ecuación de Arrhenius (Ecuación 5.2). Según Salinas & González (2007), este modelo es útil para describir la dependencia respecto a la temperatura de la constante de reacción en el intervalo en que la mayoría de los alimentos son almacenados, es decir, en temperaturas de (-20 a 0) °C para alimentos congelados y de (4 a 45) °C, para alimentos refrigerados o deshidratados.

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (5.2)$$

donde,

k: Constante de velocidad de reacción, adim

A: Factor de potencia, adim

E: Energía de activación, J/mol

T: Temperatura, K

R: Constante de los gases perfectos, J/(mol K)

Si se aumenta la temperatura a más de 40 °C, la actividad metabólica de los productos agrícolas se altera por la inactivación de las enzimas y ocurren daños irreversibles en los tejidos, que provocan su muerte (Robertson G. L., 1992). Por otro lado, cuando la temperatura es inferior a 10 °C, los procesos son más lentos, pero pueden ocurrir desordenes fisiológicos asociados a las bajas temperaturas, conocidos como daños por frío, especialmente para productos de origen tropical. Cuando la temperatura está por debajo del punto de congelación se producen daños por congelación, lo cual también deteriora los tejidos y reduce la vida comercial de los productos.

Para prolongar la vida de este tipo de alimentos se debe reducir la tasa de respiración, disipar el calor de campo y de respiración. Con el fin de disipar el calor, el producto debe ser sometido a enfriamiento, por lo que el empaque debe permitir el intercambio de calor con el ambiente y resistir temperaturas de refrigeración. Para disminuir la tasa de respiración, se debe controlar la permeabilidad tanto de oxígeno como de dióxido de carbono del material, ya que esto junto con el enfriamiento reduce la tasa de respiración del alimento y disminuye la

oxidación en algunas frutas y verduras. Sin embargo, la permeabilidad no debe ser nula ya que se puede activar la respiración anaerobia, lo que genera exceso de dióxido de carbono que conlleva al deterioro del alimento así como a la aparición de malos olores y sabores (Danish Technological Institute, 2008).

Para obtener la permeabilidad de los empaques se deberían realizar pruebas de difusión de los gases para los diferentes productos variando el grosor y material del empaque hasta encontrar la permeabilidad que preserve mejor el alimento. La permeabilidad de los gases se calcula utilizando la ley de la difusión de Fick (Ecuación 5.3): (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003)

$$J = -BA \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (5.3)$$

donde,

J: Velocidad de difusión, mol/s

B: Coeficiente de permeabilidad, mol-mm de espesor/(m² s Pa)

A: Área superficial, m²

P: Presión parcial del gas, Pa

X: Distancia en dirección de la difusión, mm

Por otro lado, el agua producida por la respiración de los productos (Figura 5.1) y el alto contenido de humedad de las frutas y vegetales frescos (más del 80 %), cuando se mantienen bajo condiciones con un diferencial de presiones de vapor entre el producto y el ambiente alto, se favorece la pérdida de humedad. Este fenómeno se conoce como transpiración y su principal consecuencia es una pérdida de agua del producto cosechado, lo que causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, se genera una pérdida de la firmeza en la apariencia del producto (Gutiérrez J. B., 2000). Los productos mínimamente procesados tienden a perder aún más humedad ya que se ha removido su protección natural (cáscara) y al ser precortados tiene mayor área superficial expuesta.

Para este tipo de producto, se busca que los empaques tengan una barrera a la transferencia de vapor alta, de modo que no se favorezca la pérdida de humedad de adentro hacia afuera del empaque. De esta manera, se logra evitar la deshidratación de frutas y vegetales mínimamente

procesados y con ello se disminuye el deterioro de la calidad. Para este caso, la permeabilidad al vapor de agua a través de un material está dada por la Ecuación 5.4 (Sharma, Mulvaney, & Rizvi, 2003).

$$\text{Permeabilidad al vapor de agua} = \frac{24 * m_v}{t * A * \Delta P * \varepsilon} \quad (5.4)$$

Donde,

m_v : ganancia o pérdida de masa, g

t: tiempo, h

A: Área superficial de la película, m^2

ΔP : Diferencia de presión de vapor, Pa

ε : Espesor de la película, m

Otro aspecto concerniente a la fisiología de frutas y hortalizas es la liberación de etileno que se da durante el proceso de maduración, conforme aumenta la concentración de este gas, disminuye la vida útil del alimento. El etileno es una fitohormona de maduración que al ocupar el mismo espacio que el producto, genera un aumento en la respiración, en la maduración y en el envejecimiento. Es responsable de la pérdida del color verde, formación de manchas, incremento en la sensibilidad al daño por frío, susceptibilidad al ataque de patógenos y crecimiento de microorganismos de deterioro (López A. F., 2003). Se requiere que el material de empaque tenga alta permeabilidad a este gas para reducir su concentración (Durner, 2013). El empaque debe proveer protección contra posibles daños mecánicos por golpes, magulladuras, fricción y cortes.

Algunos de los materiales recomendados para el empaque son: contenedores semi rígidos de HDPE o PP con láminas de PS perforadas para frutas suaves, bolsas termoencogibles de PVC o empaques rígidos de PET, PS, PP o PE para frutas pre cortadas, láminas de LDPE con ventilación o bolsas termoencogibles para productos con tallo, bolsas de LDPE para tubérculos, a las cuales se les puede agregar color para tubérculos sensibles a la luz como las papas, empaques de LDPE y PVC o PP perforado para vegetales verdes, y bolsas de LDPE, PP o laminados LDPE/EVOH para ensaladas y vegetales precortados (Ramaswamy, Smith, & Zagory, 2004). Wani, Singh, Pant, y Langowski (2015) recomiendan utilizar para el empaque

de vegetales frescos y precortados recipientes de BOPP o PS/PE con tapa de PA/PE y para frutas frescas precortadas recipientes de PVC/LDPE/HDPE con tapa de BOPP/PE/EVA⁹.

Productos con altas tasas de respiración como las bayas (fresas, moras, frambuesas, arándanos, etc.), hongos, coliflor, brócoli y lechuga, requieren una mayor permeabilidad. Las soluciones de empaque para estos productos incluyen el uso de láminas poliméricas con perforaciones (Gavara & Catalá, 2002).

5.2. Empaque para chocolates

El chocolate es un producto elaborado a partir de las semillas de cacao. Los tres ingredientes indispensables son la manteca de cacao, la pasta de cacao y el azúcar (Costaguta, 2008). Según la calidad y el tipo de chocolate, este va a llevar distintos porcentajes de grasa vegetal y manteca de cacao, lo que implica que por su naturaleza es un producto con alto contenido de grasa. Varios tipos de chocolate también incluyen en su formulación ingredientes lácteos.

El chocolate, al ser en base grasosa, tiene una alta capacidad de absorción de aromas por lo que el empaque elegido debe evitar la penetración de olores así como ser un empaque sin olor y este debe permitir un cierre hermético (Hofberger & Tanabe, 2007).

El problema más común encontrado al almacenar chocolates es la aparición de una capa blancuzca sobre la superficie. En muchas ocasiones no afecta la calidad del sabor pero sí su apariencia. Esto ocurre por dos razones asociadas al azúcar, que es menos común, y a la grasa. En el caso del azúcar, ocurre cuando el chocolate se expone a alta humedad y luego se seca, lo que hace que el agua disuelva el azúcar y al secarse se recristaliza sobre la superficie generando la capa. En el caso de la grasa, es la acumulación visible de una gran cantidad de cristales de manteca de cacao (Hofberger & Tanabe, 2007).

El cacao y el chocolate de calidad tienen una larga vida de almacenamiento ya que los polifenoles del cacao presentes de forma natural ayudan a proteger el chocolate con y sin leche de la oxidación durante largos periodos de tiempo (Callebaut, 2008). El empaque utilizado debe proteger el producto de la luz para evitar la catálisis de reacciones de oxidación y evitar

⁹ Acetato etilen-vinílico.

la difusión de grasa durante la larga vida útil del producto, la cual puede disminuir la calidad del producto.

Según Becket (2000) los chocolates se empacan por medio de flow-wrap (empaque continuo) y se utilizan materiales como polipropileno coextruido y laminados con aluminio y ionómeros¹⁰. Jones (2011) concuerda con el uso del polipropileno e indica que es el polímero que ha tenido mayor impacto en el empaque de dulces, aunque son el polipropileno biorientado y sus laminados los que tienen mayores aplicaciones. Este autor también indica que el polietileno tereftalato es muy utilizado, aunque se debe coextruir con polietileno para que pueda ser sellado. El celofán, papel aluminio, papel cristal¹¹, bolsas de polietileno, laminados y poliésteres metalizados también son ampliamente utilizados en el empaque de este tipo de productos. Además, se utilizan empaques opacos como el polipropileno perlado (Driscoll & Paterson, 1999).

5.3. Empaque para embutidos

Se conoce como embutido a los productos y derivados cárnicos preparados a partir de una mezcla de carne, grasa, cartílago, especias, sal y aditivos que se introduce en tripas o fundas con cierres cilíndricos (Ranken, Manual de Industrias de la Carne, 2003). En algunos casos, se debe preparar previamente una emulsión. Existen embutidos que requieren tripas naturales para obtener un buen secado, sin embargo estas deben ser preparadas y almacenadas cuidadosamente para lograr el buen secado y evitar la proliferación bacteriana. En los demás casos, se utilizan tripas artificiales, las cuales pueden ser fabricadas con materiales celulósicos, polietilenos, materiales termoencogibles, colágeno, poliamidas, entre otros (Sánchez & de las Infantas, 2003).

En el Cuadro B.1 se presenta la composición de algunos cortes utilizados en la producción de embutidos y en el Cuadro 5.1 se presenta la composición nutricional del jamón cocido, el chorizo y la salchicha Frankfurt. En ambos cuadros se puede observar que según el tipo de embutido se tienen diversos porcentajes de grasa (6 % – 85 %) y agua (16 % – 80 %). A la

¹⁰ Polímero con un ión.

¹¹ El papel cristal es un papel transparente, permeable al vapor de agua y con baja permeabilidad a grasas y gases (Twede & Selke, 2005).

hora de elegir un empaque, se debe tomar en cuenta la absorción y la permeabilidad de estos dos componentes para que la calidad del producto no se vea disminuida. Si hay una alta permeabilidad de grasas, el empaque puede presentar una superficie grasosa y opaca, lo que hace que el producto tenga mal aspecto en el punto de venta.

Cuadro 5.1. Composición nutricional de embutidos de alto consumo

Ingrediente	Contenido de Ingredientes (%)		
	Jamón Cocido	Chorizo	Salchicha Frankfurt
Agua	74,0	47,0	57,0
Proteína	19,0	27,0	12,0
Grasa Total	3,0	23,1	25,4
Otros*	4,0	2,9	5,6

*Vitaminas, minerales, ácidos, etc.

Fuente: (Rodríguez V. M., 2008)

Los productos cárnicos curados o pre cocidos se deterioran por decoloración al oxidarse en presencia de luz, por ranciedad oxidativa y por cambios microbianos. Por esto, al aplicar vacío o atmósfera inerte en el empaque se logra reducir el deterioro (Robertson G. L., 1992).

Los productos cárnicos se empaquetan generalmente en bandejas plásticas cubiertas con PVC o celulosa pero cuando se requiere un largo período de almacenamiento, se utiliza PVC o copolímeros de cloruro de vinilideno (VDC) y cloruro de vinilo (VC), los cuales se empaquetan al vacío y se colocan en congelación. Un empaque típico de supermercado para productos cárnicos consiste en una bandeja de poliestireno o papel, una bandeja de recolección de fluidos y una lámina de plástico que permite la migración de oxígeno pero evita la transferencia de agua como por ejemplo, PVC, EVOH, celofán o pliofilm (Driscoll & Paterson, 1999). Además se utilizan laminados coextruados que generalmente incluyen una capa de EVOH (Yam K. L., The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, 2010).

5.4. Empaque para jugos de frutas

Existen tres mecanismos de deterioro en los jugos de frutas, los cuales son el deterioro microbiano, el pardeamiento no enzimático y la oxidación que produce pérdida de sabor y de nutrientes (Robertson G. L., 1992).

Para evitar la presencia de microorganismos que generan el deterioro microbiano, el producto lleva un tratamiento térmico por medio de pasteurización. La pasteurización es un tratamiento térmico relativamente leve, lo que hace que los cambios en las propiedades sensoriales y nutricionales del alimento sean mínimos. El proceso consiste en someter el jugo a una temperatura de aproximadamente 90 °C por un corto tiempo (30 s – 60 s) en un intercambiador de calor antes de envasarlo (Ramesh, 2007). Por esta razón, se requiere un empaque con resistencia al calor ya que a pesar de que existe un enfriamiento posterior a la pasteurización, se empaqueta a temperaturas relativamente altas (30 °C – 40 °C).

La tasa de pardeamiento y la degradación de nutrientes como el ácido ascórbico por oxidación en los jugos están ampliamente relacionados con la temperatura de almacenamiento pero también se ven afectados por el material de empaque (Robertson G. L., 1992). El material de empaque debe tener una baja permeabilidad de oxígeno para disminuir dichos problemas.

Por último, algunos productos poseen pH's ácidos que evitan la proliferación bacteriana pero generan problemas en empaques. Un problema de este tipo se da al envasar jugos en latas metálicas, las cuales al presentar una rayadura o imperfección generan una rápida corrosión en la zona afectada (Robertson G. L., 1992).

Entre los materiales de empaque utilizados se encuentran las latas de aluminio, botellas de vidrio y botellas poliméricas de PET, PVC, HDPE, PC, PLA, neftalato de polietileno (PEN) y PS (Ashurst & Hargitt, 2009). Según Bates, Morris y Crandall (2001), el uso de botellas PET predomina en el mercado de jugos sin carbonatación pero indica que también se utilizan envases de PEN y copolímeros PEN/PET. Aggarwal & Kaur (2012) concuerdan con el creciente uso de botellas PET pero incluyen que son muy útiles los laminados de LDPE/PET/Aluminio y Aluminio/PET.

5.5. Empaque para aceites y margarinas

Los aceites y grasas pueden ser envasados como líquidos o sólidos dependiendo del uso destinado de estos. Independientemente del estado, estos productos requieren un empaque que presente una permeabilidad a las grasas muy baja o nula.

A pesar de que los aceites y sus derivados son muy estables, las características fisicoquímicas del material de empaque afectan significativamente la calidad de estos durante su vida útil. La permeabilidad al oxígeno y la transmisión de luz UV/visible a través de la pared del empaque son las características de mayor importancia a considerar, ya que estos productos son sensibles a la oxidación, generando rancidez en el producto (Piergiovanni & Limbo, 2010). Sin embargo, comercialmente, la gran mayoría de los envases utilizados son transparentes. Esto sucede porque el consumidor prefiere comprar un producto que pueda observar. Por lo tanto, para limitar la oxidación en el producto, los fabricantes adicionan antioxidantes, los cuáles son compuestos que inhiben la oxidación desde su primer paso. Algunos antioxidantes permitidos por la FDA son (O'Brien, 2009):

- Tocoferol: contenido en la mayoría de los aceites vegetales. Su mayor aplicación es la estabilización de grasas de origen animal por la ausencia de antioxidantes naturales en estas.
- Galato de propilo: usado en aceites vegetales, pero posee muy baja estabilidad al calor y los aceites con este aditivo tienden a oscurecerse.
- Hidroxianisol butilado (BHA): posee alta resistencia a la temperatura pero tiene un olor fenólico fuerte y genera un color rosado al mezclarse con altas concentraciones de sodio o potasio.
- Hidroxitolueno butilado (BHT): muy soluble en aceites comestibles e insoluble en agua. Puede presentar oscurecimiento en la presencia de hierro.
- Terbutil hidroquinona (TBHQ): se considera el antioxidante más efectivo en aceites vegetales insaturados. No se decolora, no imparte olor ni sabor al aceite, posee buena solubilidad, es efectivo también en grasas animales y estabiliza los tocoferoles pero al igual que el BHA genera un color rosado en contacto con pH alcalinos, algunas proteínas y sales sódicas.
- Antioxidantes naturales: extractos de romero, té verde chino, polvo de chile, uva y palmitato ascorbilo.

Varios tipos de empaques se utilizan para el empaque de aceites vegetales. Los más comunes son: recipientes de hojalata, como en el aceite de oliva, botellas de vidrio, botellas plásticas de

PET, PVC o HDPE y cartones de base papel (Robertson G. L., 2013). En el caso de las margarinas y mezclas untables, usualmente se empacan en contenedores termoformados de PP o LDPE con tapas de papel aluminio, PVC u otras láminas (Paine & Paine, 1993).

5.6. Empaque para productos lácteos

El deterioro de la leche se percibe mediante malos sabores que pueden ser ocasionados por cambios físicoquímicos o microbianos en el producto. El cambio más común es la oxidación de lípidos inducida por la luz; la exposición a longitudes de onda menores a 500 nm destruye vitaminas sensibles como la riboflavina y la vitamina A. Esto hace que se requieran empaques con una baja permeabilidad a la luz. Otros cambios incluyen la peroxidación de lípidos, causada por la formación de peróxidos e hiperperóxidos cuando se adhiere oxígeno a los radicales libres. Los cambios mencionados se deben controlar utilizando empaques de alta barrera que minimicen la transferencia de oxígeno a través del empaque. El empaque debe ser altamente sellable para prevenir el ingreso de contaminantes y el proceso de envasado debe realizarse en cuartos asépticos. Adicionalmente, se requiere un proceso de refrigeración para aumentar la vida útil (Kontominas, 2009). Las distintas variedades de leche se empacan en cajas recubiertas con LDPE (ej: tetrabrick) y botellas plásticas de HDPE (Yam K. L., 2010).

Los principales derivados de la leche incluyen el yogurt, el queso, la leche en polvo, la crema y los helados. Al ser productos derivados, estos también se deterioran por las mismas condiciones que afectan a la leche y por lo tanto, se deben tomar en cuenta factores como la permeación de oxígeno y de luz a la hora de empaclar los productos.

En el caso de los yogurts, se puede dar descomposición microbiana causada por levaduras y mohos principalmente. Esta se puede deber a la contaminación durante el proceso o por la falta de integridad del empaque, sellos defectuosos, entre otros. Es común que se den cambios de sabor debidos a la permeación de componentes volátiles desde el yogurt hacia el ambiente como por ejemplo el acetaldehído (MacBean, 2009). Los yogurts, natillas y quesos frescos requieren empaques rígidos por lo general de PS, HDPE, PP, PVC o PVDC (Zhao, 2004).

La textura de los quesos es un parámetro esencial en su calidad y se ve influenciada por el contenido de humedad, grasa y calcio (Pocas & Pintado, 2009). El empaque del queso debe

tener baja permeabilidad de vapor de agua y grasa para evitar la pérdida de calidad del producto. Se deben controlar las condiciones de empaque y sellado de los empaques que contienen quesos, ya que estos productos tienden a tener crecimiento indeseado de mohos y levaduras en su superficie. Los quesos utilizan empaques encerados, laminados plásticos y nylon (Driscoll & Paterson, 1999).

En el caso de la leche en polvo ocurre un fenómeno llamado “caking” el cual sucede cuando se tienen condiciones de humedad y temperatura altas que ocasionan que el polvo se movilizce con un flujo de alta viscosidad, lo que lo hace pegajoso y se genera una torta (cake) (Tehrany & Sonneveld, 2009). La leche en polvo es un producto que posee un a_w bajo y por lo tanto es susceptible a absorber agua. El material de empaque debe reducir al máximo el paso del agua al interior del empaque para evitar que ocurran estos problemas. Según Driscoll y Paterson (1999), los empaques de hojalata o empaques laminados son utilizados para el empaque de leche en polvo.

Otros productos incluyen los helados que se empacan en contenedores de cartón o HDPE y en papel encerado y la crema láctea que se empaca en cajas (tetrabrik), botellas de vidrio o envases de HDPE (Driscoll & Paterson, 1999).

5.7. Empaque de galletas

Las galletas son productos sólidos con alta tendencia a la absorción de humedad por su bajo a_w . La absorción de humedad crea condiciones para el crecimiento de mohos, es por esto que para mantener la calidad del producto, el empaque debe evitar el ingreso de vapor de agua. Por esta misma razón, el material debe ser sellable. Al sellar el empaque también se evita el ingreso de microorganismos que pueden ser problemáticos, ya que el pH para estos productos está entre 6 y 8,0, y es un ambiente ideal para la proliferación microbiana (A.A.P.P.A, 2003).

Puesto que son productos que generalmente deben ser crujientes y quebradizos, se requiere un envase preferiblemente rígido. Según Yam (2010), la pérdida de lo crujiente y la rancidez generada por la oxidación de la grasa presente en la galleta son los dos mayores reductores de calidad en las galletas. El propósito principal del empaque es proteger las galletas y otros

productos de panadería y evitar cambios indeseables en sabor, color y aspecto (Desrosier, 1997).

Los materiales tradicionales para el empaque de galletas son PP plano, perlado, coextruido o con cobertura acrílica. Se utilizan coextrusiones de PP y PVC cuando se requiere una menor transferencia de oxígeno. Cuando se quiere protección mecánica, se utilizan empaques rígidos de cartón, PVC o PET (Robertson G. L., 2013). Smith y Simpson (1996) indican que el cloruro de polivinilideno (PVDC) y el EVOH son excelentes en coextrusiones para el empaque de productos de panificación por su baja permeabilidad de gases y vapor de agua.

Una vez determinados los requerimientos de empaque según las características de los productos para cada sector y su interacción con el ambiente, se deben analizar los empaques utilizados realmente en la industria y los principales problemas que estos presentan para así determinar por qué razones ocurren. En el siguiente capítulo se describe el procedimiento metodológico utilizado para realizar dicho análisis.

CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA

El objetivo principal del proyecto es analizar la oferta, requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica. Para esto, se realizaron los pasos descritos a continuación.

6.1. Documentación de propiedades y características de empaques poliméricos

Primeramente, se realizó una investigación bibliográfica acerca de los polímeros utilizados en la industria de alimentos. A partir de la información obtenida, se decidió investigar con mayor profundidad las propiedades y características de diez polímeros de empaque de uso común en la industria de alimentos, los cuales son polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, nylon 6 (poliamida), alcohol etilenvinílico, poliuretano y celofán.

Para los polímeros mencionados anteriormente se obtuvieron algunas propiedades físicas, químicas, mecánicas, térmicas y eléctricas que son relevantes para el empaque en estos materiales. Con las propiedades obtenidas se determinaron las ventajas y limitaciones de los materiales de empaque en estudio a la hora de empacar distintas clases de alimentos.

Adicionalmente, se investigó la oferta de empaques disponibles en Costa Rica, ya sea por importación o por producción a nivel nacional, mediante datos de centros como la Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica y Proexport Colombia. Además, se obtuvo información general de la industria en el país.

6.2. Definición de áreas de aplicación

Se eligieron siete sectores de la industria de alimentos de CR para realizar entrevistas y así obtener información primaria acerca de los empaques utilizados. Los sectores se eligieron tomando los cinco mayores generadores de valor agregado (ver Figura 2.7) que corresponden a bebidas, carnes, lácteos, aceites y panificación respectivamente. El sector de frutas y verduras frescas se eligió por poseer productos que requieren mayor cuidado al ser empacados ya que continúan los procesos metabólicos después de ser mínimamente procesados y, por

último, el sector de dulces y chocolatería se eligió por su variedad de empaques poliméricos utilizados.

6.3. Visitas a supermercados: selección de empresas y productos

Una vez definidos los sectores a estudiar se realizó una revisión de los productos correspondientes a cada sector en los supermercados y a partir de esta se eligieron las industrias a visitar y se delimitaron los productos principales de cada industria para ser estudiados con más atención. Las empresas entrevistadas y su descripción se muestran en el Cuadro 6.1. No se presentan nombres ya que los entrevistados solicitaron la confidencialidad de la información para así proteger sus marcas.

Cuadro 6.1. Empresas entrevistadas y productos elegidos para el estudio

Empresa	Sector	Tamaño (N° de Empleados)	Productos
A	Frutas y hortalizas	>100	Frutas y vegetales mínimamente procesados
B		>100	
C	Cacao, chocolate y confitería	31-100	Chocolates
D		>100	
E	Carnes	>100	Embutidos
F	Bebidas	>100	Bebidas no alcohólicas, sin carbonatación
G		>100	
H	Aceites y grasas de origen vegetal	>100	Margarina
I		>100	Aceites
J	Lácteos	>100	Quesos, natilla, yogurt y leche
K		>100	
L	Panificación	6-30	Galletas
M		>100	

Para el sector de procesamiento y conservación de carnes, solo se entrevistó una empresa grande, la cual empaca al menos 6 marcas que se encuentran en el mercado costarricense, por lo que se puede asumir que la información respecto a los empaques utilizados es significativa.

Las empresas seleccionadas se contactaron por vía telefónica y por correo electrónico, coordinando así citas para realizar las entrevistas requeridas al personal encargado del empaque en cada una de estas.

6.4. Elaboración de instrumento

Una vez seleccionadas las empresas y los principales productos que se iban a analizar, se definió la información que se quería obtener de las entrevistas. Esta información incluía los tipos de empaques y materiales utilizados, condiciones de empaque para determinar requerimientos como la resistencia a la temperatura, propiedades de alimentos empacados como la humedad y el estado físico, criterios de selección de empaques, requerimientos adicionales a la hora de empacar, problemas específicos, proveedores para la realización de un directorio, entre otros. Se incluyó un rubro de observaciones generales para registrar información particular dada por los entrevistados así como observada durante las visitas a las empresas.

El propósito del instrumento fue obtener información con respecto a los materiales poliméricos utilizados para así identificar cualquier problema que estos presentaran y posteriormente, mediante comparación con la información bibliográfica y las propiedades de cada polímero, investigar las razones por las cuales se podrían presentar y como se podrían solucionar. A partir de la información definida se elaboró el instrumento para la recopilación de información.

6.5. Ajuste de instrumento

El instrumento fue revisado por el comité asesor y fue corregido previo a las visitas. Después de la primera visita se modificó nuevamente para corregir algunos detalles que no se podían prever hasta que este fuera aplicado. El instrumento utilizado se presenta en la Figura 6.1.

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

Análisis de la oferta, requerimientos y características de materiales poliméricos de empaque en el sector de la industria de alimentos en Costa Rica

Objetivo de la encuesta: obtener información primaria sobre el empaque en la industria alimenticia en Costa Rica y comparar el uso dado a los diferentes polímeros con lo propuesto en la teoría.

Sector:

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Procesamiento y conservación de carnes | <input type="checkbox"/> Elaboración de cacao, chocolate y confitería |
| <input type="checkbox"/> Elaboración de bebidas no alcohólicas y no carbonatadas | <input type="checkbox"/> Elaboración de productos de panificación |
| <input type="checkbox"/> Elaboración de aceites y grasas | <input type="checkbox"/> Elaboración de productos lácteos |
| <input type="checkbox"/> Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas | |

Empresa: _____

Entrevistado: _____

Puesto: _____

Información del producto y empaque:

Producto	Características (Sólido, Líquido, Polvo, Húmedo, Seco, Higroscópico, etc.)	Polímeros de empaque (PET, HDPE, LDPE, PVC, PP, PS, PA, EVOH, PU, Celofán, Otros)	Tipo de empaque (Envase, Caja, Lámina (Espesor), Bolsa, Bandeja)	Temp de empaque	Temp de almacenamiento	Empaque reutilizable o reciclable (Si/No)	Requerimientos adicionales (Impresión, Tratamiento térmico, Sellado, Cierres (Tipo), Vacío, Pruebas o control, Otros)	Req. De Permeab (Grasas, Gases, H ₂ O)	Traslucidez	Protección Física

Indique la importancia de los siguientes criterios en la selección del empaque:

- | | | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Disponibilidad | <input type="checkbox"/> Contaminación ambiental | <input type="checkbox"/> Tipo de consumidor |
| <input type="checkbox"/> Facilidad de moldeo | <input type="checkbox"/> Propiedades del alimento | <input type="checkbox"/> Otros: _____ |
| <input type="checkbox"/> Costos | <input type="checkbox"/> Protección del alimento | |

¿Cuáles son los proveedores?

¿Cuáles son las limitaciones o problemas que tienen con los empaques? (calidad, origen, disponibilidad, otras)

¿Existen condiciones de compra (Ej. compra mínima)?

¿Costo empaque producto?

Volumen Semanal

Observaciones generales:

Figura 6.2. Instrumento utilizado para la recopilación de información

6.6. Aplicación del instrumento en empresas seleccionadas (entrevistas)

El instrumento se aplicó realizando entrevistas personales a los encargados del área de empaque en las empresas seleccionadas, siendo estos tecnólogos de alimentos o ingenieros de las áreas de investigación y desarrollo, logística, calidad y producción. En el caso de las empresas B, F, H, I y M se realizaron visitas a la línea de producción para observar el proceso de empaque de productos y/o de producción de envases y empaques.

6.7. Análisis de resultados

La información obtenida se agrupó por sectores y se comparó tanto entre las dos empresas de cada sector, con la excepción del sector cárnico, como con la información bibliográfica. De esta manera, se determinó la razón por la cual utilizaban los materiales que indicaron y se obtuvo una explicación fundamentada con respecto a los problemas presentados. Los resultados obtenidos se detallan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 7: RESULTADOS

En este capítulo se analiza la información recopilada durante las entrevistas realizadas, con el fin de analizar los tipos de empaques primarios utilizados en las diferentes empresas.

7.1. Industria de procesamiento y conservación de frutas y hortalizas

Para el sector de procesamiento de frutas y hortalizas se obtuvo información del tipo de empaque utilizado para alimentos mínimamente procesados, específicamente, productos precortados y algunos vegetales y frutas frescos enteros como lo son el tomate, las fresas, uvas, entre otros. En el Cuadro 7.1 se presenta un resumen de la información recopilada a partir de entrevistas en las dos empresas visitadas.

En general, los empaques que las empresas reportaron son totalmente transparentes o con pequeñas áreas impresas. Esto se da porque las frutas y vegetales varían su aspecto y color dependiendo de factores como la madurez del producto, la oxidación y la descomposición. Por lo tanto, como el producto es visible a través del empaque, el comprador lo elige en el estado de madurez que desea y se asegura de que este no presente daños físicos ni señales de deterioro. Según Morales (2011), el color y la textura de los vegetales son los atributos que más influyen la percepción de frescura.

Al tratarse de productos delicados es preferible utilizar empaques rígidos que protejan al alimento de daños mecánicos que alteren su integridad física. Las personas entrevistadas indican que el empaque no presenta problemas en la protección física del producto. Esto ocurre porque las ensaladas y lechugas precortadas se empaquetan bajo una atmósfera modificada que requiere el uso de empaques flexibles y al aplicarla, una gran porción del empaque se llena de gases, haciendo que este se vea inflado y creando una protección sobre el producto ya que al aplastar las bolsas los gases no permiten que el producto sufra daños físicos.

La integridad física también se relaciona con otros problemas en el alimento, ya que como lo indican Rotondo, Ferratto, y Firpo (2008) los daños físicos aceleran el metabolismo provocando deterioro de características sensoriales deseables, pérdida de nutrientes, así como desarrollo de microorganismos, que llevan a un rápido decaimiento de la calidad y acortamiento de la vida útil.

Cuadro 7.1. Materiales de empaque utilizados en la industria de frutas y vegetales precortados según entrevistas realizadas en dos empresas del sector.

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
A y B	Lechugas y ensalada	Sólido húmedo	(10-15) / (1-3)	LDPE	Bolsa Traslúcida	Impresión, sellado, atmósfera modificada	Buena barrera de gases y Buen comportamiento con atmósfera modificada. Reciclable	No
	Vegetales mixtos	Sólido	25 / 10	Cryovac ^{®12}	Bolsa Traslúcida	Sellado, vacío	Buena conservación del alimento por aplicación de vacío	Alto impacto ambiental, no reciclable y problemas de sellado, pérdidas de vacío
A	Vegetales y Frutas Frescos Enteros	Sólido	25 / 10	PS	Bandeja opaca	Lámina transparente	Buena protección física	Alto impacto ambiental, no reciclable y se debe utilizar junto con otro material
				PVC	Lámina Traslúcida	Etiquetado	Buen sellado, auto adherible Buena protección, buen comportamiento con atmósfera modificada. Reciclable	Difícil de reciclar
	Ensalada lista para consumir	Sólido húmedo	(10-15) / (1-3)	PP	Bandeja cierre presión Traslúcida	Etiquetado	Buena protección, buen comportamiento con atmósfera modificada. Reciclable	Mala transferencia de gases Alto costo
	Frutas Precortadas Frutas Precortadas	Sólido húmedo	10 / 10	PET	Bandeja cierre presión Traslúcida	Etiquetado	Buena capacidad de moldeo. Reciclable	Malas propiedades mecánicas
				Doypack [®]	Bolsa cierre zipper Traslúcida	Impresa, sellada	Manipulación de barrera, empaques funcionales. Reciclable	Alto impacto ambiental, no reciclables

NOTA: La nomenclatura de la empresa corresponde a la dada en el Cuadro 6.1.

Ambas empresas entrevistadas concuerdan con los empaques utilizados para lechugas y ensaladas precortadas. Como se mencionó anteriormente, para empacar estos productos se aplica una atmósfera modificada que genera las condiciones requeridas dentro del empaque y

¹² Marca comercial de bolsas laminadas para empaque al vacío.

permiten extender su vida útil. Según Ramaswamy, Smith, & Zagory (2004) para el empaque con atmósfera modificada se requieren materiales con una relación de permeabilidades de $\text{CO}_2:\text{O}_2$ de aproximadamente 3:1, para compensar la tasa de respiración del producto y así obtener un equilibrio. La relación de permeabilidades para el LDPE calculada con los datos de Cuadro 4.1 es de 2,5-3,5:1, lo que cumple con esta condición. El LDPE presenta una gran sellabilidad al calor, la cual es de gran relevancia en este caso, para retener las condiciones de la atmósfera modificada dentro del empaque.

En la empresa A empacan ensaladas listas para consumir en burbujas de PP con cierre de presión. Laurila y Ahvenainen (2002) mencionan que las permeabilidades a los gases del PP no son lo suficientemente altas para el empaque de productos con alta tasa de respiración. Por esta razón, se deben realizar perforaciones en el material de empaque para las ensaladas como lo indican Gavara y Catalá (2002).

Algunos productos precortados tienden a perder líquidos, mediante transferencia de masa, que acelera su fermentación, haciendo su vida útil más corta. Saborío (2014) indica que en el caso de la piña precortada, la transferencia de masa podría ocurrir por los siguientes mecanismos: líquido-líquido (jugo drenado por la fruta), vapor-vapor (vapor de agua permeado a través del empaque) y líquido-vapor (del jugo drenado al espacio libre en el empaque). Asumiendo que este comportamiento se puede extrapolar a algunas frutas y vegetales, la elección del empaque puede mitigar la permeación de vapor a través del empaque, reduciendo la pérdida de jugos y contribuyendo así con el aumento de la vida útil del producto.

Según Kader (2004) para reducir la pérdida de vapor de agua desde el tejido de la fruta hacia el exterior, se debe utilizar un empaque que proporcione una barrera, enfriar a 5 °C o menos y mantener el producto a esa temperatura con una humedad relativa de 95 % o superior durante el almacenamiento y la distribución.

Como se observa en el Cuadro 7.1, los materiales utilizados en las empresas visitadas para el empaque de frutas y vegetales precortados son LDPE, Cryovac®, PP, PET y Doypack®. Las bolsas Cryovac® y Doypack® son empaques laminados que se diseñan con las propiedades de barrera requeridas por el cliente, es decir, la transmisión de vapor se limita agregando capas

adicionales de distintos materiales poliméricos. En el caso de los polímeros monocapa utilizados, en el Cuadro 4.1 se puede observar que después del HDPE, el PP, PET y LDPE son los que presentan las menores tasas de transmisión de vapor, en comparación con los demás materiales. El caso de estos polímeros coincide con los materiales sugeridos por Kader (2004).

Las frutas precortadas, como la piña, se empaquetan en bolsas Doypack® con cierre zipper. Estas bolsas consisten en laminados multicapa de distintos materiales los cuales cumplen su función de alargar la vida útil del producto al ser diseñadas según las propiedades de barrera requeridas. Se utilizan también bandejas de PET con cierre de presión para empaquetar mezclas de piña, papaya y sandía, siendo este un material recomendado por Ramaswamy, Smith, y Zagory (2004). Las frutas precortadas se pueden recubrir con un film comestible ya que, como lo menciona Saborío (2014), los recubrimientos no solo mejoran características físicas, sensoriales y químicas del alimento sino que aumentan la vida útil del alimento permitiendo mantener las propiedades naturales por un tiempo prolongado.

El empaque de las frutas y vegetales precortados se realiza en un ambiente refrigerado a aproximadamente 10 °C para reducir la respiración y la descomposición durante el procesamiento. Cabe destacar que ninguna de las dos empresas considera la permeabilidad al etileno como un criterio de selección, a diferencia de la permeabilidad de otros gases como lo son el oxígeno y dióxido de carbono.

Para los vegetales mixtos se utilizan bolsas Cryovac®, las cuales son bolsas laminadas de distintos polímeros diseñadas especialmente para empaquetar productos al vacío. Una de las preocupaciones de los entrevistados es que este tipo de bolsas presenta dificultad de sellado térmico, por lo que se pierde el vacío y se disminuye significativamente la protección del alimento.

Respecto a los vegetales frescos enteros, la empresa A utiliza láminas de policloruro de vinilo auto adherible y bandejas de poliestireno, para cuidar la integridad física de los productos, aunque estos materiales son sumamente contaminantes y no se pueden reciclar. El entrevistado indicó que no cuentan con una alternativa viable en este momento que les permita cambiarlos. En el mercado existen bandejas similares en biopolímeros, específicamente en ácido

poliláctico (PLA), que presentan propiedades mecánicas, como la rigidez y resistencia, similares a las del poliestireno (Cuadro 7.2). Según Henton, Gruber, Lunt, & Randall (2005) estas bandejas se pueden diseñar para que se degraden de manera controlada, es decir, en un tiempo determinado, lo que resolvería el problema de contaminación, pero los costos económicos para la obtención de estas bandejas hacen que esto no sea factible para productos de bajo precio, como lo son las frutas y vegetales. El entrevistado indica además que las compañías que venden estos empaques exigen compras mínimas muy grandes, que para la producción que se da en el sector generan un excedente de empaques. Por otro lado, habría que evaluar la interacción de las bandejas biopoliméricas con el producto.

Cuadro 7.2. Comparación de propiedades mecánicas del poliestireno y el ácido poliláctico

Polímero	PS	PLA extruído o termoformado	PLA inyectado
Rigidez o Módulo de Flexión (Mpa)	3100	-	3800
Fuerza de Impacto (J/m)	19,7	0,33	0,16
Elongación al quiebre o Esfuerzo Último ϵ_b (%)	1-4	6	2,5
Módulo de Tensión (MPa)	3200-4200	3500	-
Resistencia a la Tensión al quiebre (MPa)	35-60	53	48
Resistencia a la Tensión al ceder (MPa)	35-60	60	-

Fuente: (Henton, Gruber, Lunt, & Randall, 2005)

Ambas empresas describen la protección física dada por todos los empaques que utilizan actualmente como alta, a pesar de que compran bolsas y empaques genéricos que no están diseñadas para sus productos específicamente. La compra de estos empaques genera riesgos adicionales como lo son la obtención de bolsas y envases defectuosos, así como empaques contaminados.

Los dos entrevistados mencionaron estar preocupados por la contaminación ambiental que generan algunos de sus empaques, como Doypack® y Cryovac®, y manifestaron estar en busca de opciones más amigables con el ambiente que sean factibles dentro de cada empresa.

7.2. Industria de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería

En el sector de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería se entrevistaron dos empresas productoras. En el Cuadro 7.3, se presenta la información recopilada.

Cuadro 7.3. Materiales de empaque utilizados en la industria de chocolate según entrevistas realizadas en dos empresas del sector.

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
C	Cacao en polvo, chocolate recubierto, manteca y licor de cacao y jarabe de chocolate	Polvo Seco, Sólido Seco, Sólido Grasoso, Líquido y Líquido	Cacao en polvo y manteca: 25 / 25 Licor y jarabe: 50 / 25 Recubiert: 10 / 10	LDPE	Bolsa Traslúcida	Sellado, etiquetado	Buena protección física y barrera de grasas adecuada. Reciclable	Permiten el paso de aromas al chocolate, problemas de sellado ya que las bolsas estallan al ser estibadas
	Chocolates recubiertos para almacenar a largo plazo	Sólido seco	10 / 10	Doypack®	Bolsa Traslúcida	Sellado	Evita el paso de aromas y son empaques funcionales Buena protección física, empaques reutilizables	Alto impacto ambiental, no reciclable
	Chocolate líquido	Líquido	60 / 25	HDPE	Baldes opacos con tapa presión	Etiquetado	Buena protección física, empaques reutilizables	Útiles solo para grandes volúmenes (1 gal y 4 gal)
D	Chocolates pequeños	Sólido seco	25 / 25	PP metalizado	Lámina opaca	Celofán	Buena protección del alimento	Se requieren dos capas (primero PP y luego celofán). No Reciclable
				Celofán	Lámina Traslúcida	Impresión	Cierre “twist” lo hace muy útil. Reciclable	Alto costo económico
	Tabletas	Sólido seco	25 / 25	PP metalizado	Lámina opaca	Impresión y sellado	Buena protección del alimento	Se rasga muy fácil generando empaques abiertos. No Reciclable

Se encontró que a pesar de que ambas empresas producen chocolates, estas difieren en los tipos de materiales de empaque utilizados, ya que los productos están dirigidos a dos mercados distintos.

Empresa C

En la empresa C se producen distintos tipos de chocolate para ser utilizados como materia prima por otras compañías. Estos vienen en diferentes presentaciones, como los son líquido, sólido y en polvo.

El cacao en polvo es un producto con un a_w bajo, por lo que tiende a absorber humedad del ambiente. Esto implica que se requiere un empaque con baja permeabilidad al vapor de agua y con alta sellabilidad. Las bolsas de LDPE utilizadas (Cuadro 4.1), poseen una baja transmisión de vapor y, como lo menciona Dash (2014), este material posee alta sellabilidad al calor.

Ranken, Baker, y Kill (1997) establecen que el contenido de grasa del cacao en polvo ronda entre 8 % y 23 %, dependiendo de si la formulación es regular o baja en grasa. Por esta razón, es un producto propenso al “caking”, haciendo que se requiera una alta barrera a la grasa. Según Villamizar y Gomez, (1992), el LDPE no posee una baja permeabilidad de grasas, por lo tanto, el producto debe ser almacenado a temperaturas menores a 20 °C para evitar la migración de grasas cuando se utiliza este material de empaque.

El chocolate y sus derivados, como lo mencionan Hofberger y Tanabe (2007), poseen una alta capacidad para la absorción de aromas y según Greengrass (1999) el polietileno de baja densidad es una mala barrera para aromas. Por lo tanto, se debe evitar almacenar el producto en ambientes con aromas fuertes o cambiar el material de empaque por uno laminado con una capa de aluminio.

Para efectos de la empresa visitada, los chocolates recubiertos consisten de arroz tostado recubierto con chocolate. Estos se empaquetan en bolsas selladas de LDPE. Al igual que el cacao en polvo, estos chocolates requieren una barrera a la grasa, baja permeabilidad al vapor de agua y alta barrera para aromas. Este tipo de chocolate es endulzado por lo que existe una mayor posibilidad de que aparezca una capa blancuzca en la superficie, como se explicó en el Capítulo 5.

La barrera al vapor de agua que provee el LDPE es alta y se adapta a los requerimientos de estos chocolates. La barrera a las grasas es baja pero quizás como este producto se mantiene en refrigeración los efectos de la mala barrera a la grasa no se manifiestan. La alta permeabilidad a los aromas que presenta este material sí es un problema cuando el producto se almacena por varios meses ya que las bolsas se colocan en cajas de cartón corrugado y al utilizar el polietileno con el que se empacan los otros productos, el chocolate absorbe al aroma del cartón. Autores como Becket (2000) concuerdan con que el uso de empaques laminados, ya sea de varios polímeros o con materiales metalizados, son los más adecuados para el empaque de chocolates.

En la empresa entrevistada tuvieron que implementar un empaque Doypack® sellado para las presentaciones de estos chocolates que deben almacenarse por más tiempo, para evitar la absorción de aromas. Al ser un empaque constituido por varias láminas poliméricas, donde se incluyen materiales que generan una alta barrera a aromas, el Doypack® es una buena alternativa.

La manteca de cacao es la grasa natural extraída de los granos de este fruto y el licor corresponde al cacao finamente molido. Ambos productos también se empacan en bolsas de LDPE. En este caso, se recomienda sustituir estas bolsas por una que tenga mejor barrera a las grasas y a los aromas como lo son el PP y los empaques laminados ya que se trata de productos con mayor contenido de grasas.

Para el chocolate líquido, se utilizan bolsas de LDPE y recipientes de HDPE. Las bolsas de LDPE poseen los problemas antes mencionados de barrera pero adicionalmente, al tratarse de un producto líquido, se presentan riesgos de derrames y fugas del producto.

Los recipientes de HDPE dan una buena protección física al producto al ser recipientes rígidos y presentan la ventaja de que pueden ser reutilizables y reciclables. Estos baldes tienen la capacidad de contener grandes volúmenes, por lo que son poco prácticos si se desea comercializar el producto a pequeña escala.

Entre los problemas presentados en esta empresa está el sellado de las bolsas de LDPE, ya que estallan al ser estibadas. Es decir, el sello no aguanta la presión del aire ocluido en las bolsas,

ocasionada por la compresión al estibar. Esto se solucionaría removiendo el aire de los empaques antes de sellarlos, pero al incluir otra etapa en el proceso se aumentarían los costos de producción. Sin embargo, sí se están usando bolsas de polietileno de baja densidad, las cuales se encuentran entre las recomendaciones de Driscoll y Paterson (1999). En esta empresa caracterizan la protección física que el empaque le da al producto como alta en todos los casos, sin embargo, según el análisis realizado, la protección de las bolsas de LDPE no es la recomendada.

Empresa D

La empresa D produce distintos tipos de chocolates para la distribución directa en puntos de venta. Estos se dividen en dos grupos: tabletas y chocolates pequeños.

Las tabletas de chocolate se empacan en láminas de polipropileno metalizado impreso y termosellado. El PP posee una baja permeabilidad al vapor de agua, como se observa en el Cuadro 4.1 y según Villamizar y Gomez (1992), tiene una baja permeabilidad a las grasas. Kirk-Othmer (2007) menciona que la transferencia de aromas es equivalente a la transferencia de gases, según lo establecido en el Cuadro 4.1, el PP no tiene una buena barrera a los aromas. Sin embargo, en este caso se utiliza un polipropileno laminado, que al tener una capa metalizada mejora sus propiedades de barrera a los gases, agua y grasas.

El principal problema mencionado es que este material se rasga muy fácilmente por lo que se producen empaques abiertos y esto hace que se requiera mucho control del proceso. Sin embargo, la empresa clasifica como alta la protección física que este material provee.

Los chocolates pequeños se empacan en dos etapas. Primero se envuelve el chocolate en una lámina de polipropileno metalizado y posteriormente se coloca una lámina de celofán impresa como una capa exterior. El celofán es muy útil en este tipo de industria ya que posee la capacidad de cerrarse en “twist”, es decir, girando cada extremo del papel, pero es un material de alto costo económico.

La capa de PP metalizado genera las condiciones de barrera requeridas por el chocolate, mientras que el celofán genera un cierre seguro y funcional. La empresa clasifica la protección de estos materiales como regular ya que se requieren dos láminas para obtener la protección

adecuada. Ambos materiales utilizados en esta empresa coinciden con los recomendados por Driscoll & Paterson (1999).

7.3. Industria de procesamiento y conservación de carnes

Se analiza la industria de procesamiento y empaque de embutidos. En este sector solo se realizó una entrevista, sin embargo, la empresa entrevistada empaca al menos seis de las marcas comerciales de embutidos más populares en el mercado, por lo que los datos obtenidos se consideran representativos para el sector. En el Cuadro 7.4 se presenta la información obtenida.

Los embutidos están compuestos principalmente por agua, grasa y proteína, como se mencionó en el Capítulo 5, por lo que el empaque debe ser capaz de retener el líquido y la grasa dentro de él, es decir, debe tener baja permeabilidad a ambos componentes. La presencia de grasas hace que los productos sean propensos a generar rancidez por oxidación y para retardar este proceso, el empaque debe limitar el ingreso del oxígeno y la luz.

Al utilizar empaques laminados se incluyen capas de distintos polímeros con las características requeridas. En el Cuadro 4.1 se observan las propiedades del nylon 6 (PA) y del alcohol etilvinílico (EVOH). Se destaca que ambos poseen muy bajas permeabilidades al oxígeno y, según Villamizar y Gómez (1992), poseen muy baja permeabilidad a las grasas. Esto los hace ideales como capas en materiales de empaque coextruídos para utilizarse en productos cárnicos. En el Cuadro 7.4, en esta empresa todos los empaques primarios incluyen al menos una capa ya sea de nylon 6 o alcohol etilvinílico. Se utilizan también capas de polietileno por su baja permeabilidad al vapor de agua la cual, como se observa en el Cuadro 4.1, tiene valores entre (0,3 y 2) $\text{g}\cdot\text{mil}/(100 \text{ in}^2\cdot\text{día})$, además de presentar una alta sellabilidad al calor (Peacock, 2000).

Los embutidos son sólidos húmedos (a_w alta) con alto contenido proteico. Esto los hace propensos al ataque de microorganismos patógenos. Según Sánchez y de las Infantas (2003) con la adición de azúcar se acidifica el medio y se produce ácido láctico, con lo que se consigue que crezcan los microorganismos deseables para la fermentación del embutido e impide que se desarrollen otros microorganismos patógenos y de deterioro. Como una medida

adicional, el empaque se realiza en un cuarto refrigerado, ya que muchos de estos productos se empacan en crudo y luego se cocinan. Al estar crudos, son más propensos a la reproducción de microorganismos y la disminución de la temperatura contrarresta esta situación. Los empaques se sellan para mantener la calidad e inocuidad del producto.

Para procesos intermedios en embutidos rebanados y salchichas, como el ahumado y la cocción, se utilizan fundas permeables. Estas deben ser capaces de resistir las temperaturas de cocción de productos cárnicos que son de 63 °C – 75 °C (INA, 2007). En este caso se utilizan fundas de celulosa, material que, según Mark (1999), inicia su degradación térmica a los 220 °C.

Cuadro 7.4. Materiales de empaque utilizados en la industria de procesamiento y conservación de embutidos según la entrevista realizada en una empresa.

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material (capas)	Tipo	Otros Requerim.	Ventajas	Problemas o desventajas
E	Jamón rebanado, salchichas, salami (Empaque tipo blíster)	Sólido húmedo	4 /25	Laminación Nylon/ EVOH	Lámina Traslúcida	Sellado, vacío	Buena protección física con empaques de alta barrera	Alto impacto ambiental, no reciclables
		Sólido húmedo	4 /25	Laminación Poliéster/ EVOH/PE	Lámina opaca	Impresión, sellado, vacío		Capacidad de manipular la barrera con las capas
	Salchichas (ahumado)	Sólido húmedo	4 /25	Celulosa	Funda Traslúcida	Permeable Cierre twist	Empaques recomendados por proveedor según las propiedades de cada alimento	Impresión debe ser muy exacta porque el proceso de empaque es automatizado y si no es así la máquina corta mal los empaques
	Salchichón	Sólido húmedo	4 /25	PA/CoAC/ PA	Funda opaca	Impermeab. termocogibles, cierre con clip, impresión		Certificaciones de calidad e inocuidad
Jamón sin rebanar	Sólido húmedo	4 /25	PA/PE/PE modificado	Funda Traslúcida	Termocogible, impresión, cierre con clip			

Para el empaque de embutidos rebanados y salchichas, la empresa entrevistada utiliza laminados multicapa, donde se usa un fondo termoformado flexible transparente y una tapa impresa. Autores como Yam (2010) establecen que se utilizan distintos materiales laminados con capas de alcohol etilenvinílico para el empaque de productos cárnicos, como se da en este caso.

En este sector, el consumidor requiere observar la apariencia del producto a la hora de elegirlo. El uso de láminas transparentes permite verificar que el embutido tenga un color atractivo, que no tenga exceso de líquido libre y que el producto no tenga una apariencia grasosa ni babosa.

El empaque primario de embutidos sin rebanar como el salchichón y los jamones, corresponde a fundas impermeables, termoencogibles, impresas y cerradas con clip fabricadas con una laminación de poliamidas y polietilenos. Estas fundas deben ser termoencogibles ya que al encogerse, generan un producto más compacto y posteriormente se puede rebanar con mayor facilidad, lo que mejora el rendimiento pero aumenta costos ya que mientras más termoencogible el material es más caro y se debe mantener en refrigeración para evitar que varíe su tamaño durante el almacenamiento.

Otra consideración es que si la funda no es termoencogible, se generan bolsas de aire en el producto, las cuales ocasionan la difusión de las grasas a estas zonas creando acumulaciones de grasa en la superficie del producto.

El grosor de las bolsas se debe variar según la cantidad de producto que se empaca ya que conforme más producto, se requiere mayor resistencia mecánica del empaque por el aumento en volumen y peso. Por otro lado, el empaque debe ser capaz de resistir las temperaturas de cocción del embutido.

Entre los problemas presentados se encuentra la utilización de láminas con un grosor no uniforme. Las propiedades mecánicas del material disminuyen en las zonas más delgadas haciendo que se genere debilidad en zonas que durante el procesamiento y la distribución del producto puede conllevar a pérdidas de vacío y fugas de líquido.

Además, la impresión debe ser muy exacta y tomar en cuenta el estiramiento del material ya que el proceso de empaque es automatizado. Si no es así la máquina corta mal los empaques, lo que implica que se debe empaquetar nuevamente el producto generando pérdidas económicas innecesarias. Por esta misma situación, el factor de fricción del material debe ser suficientemente alto para que el empaque no se resbale en las bandas transportadoras.

En esta empresa se importan muchos de sus empaques directamente de otros países por lo que existe un gran riesgo de desabastecimiento por los atrasos por tránsito en barco, si no se toman las precauciones del caso.

Los empaques primarios utilizados tienen certificaciones de inocuidad y calidad ya que son una barrera indispensable y en la industria alimentaria, ofrecer un producto inocuo es la primera prioridad. El proveedor ofrece empaques según necesidad y ellos hacen la validación técnica, por lo que los empaques se comportan de muy buena manera a la hora de mantener el alimento en sus mejores condiciones. Esto aplica para todas las marcas que empaquetan, sin embargo, algunas líneas son más baratas que otras, lo que se refleja también en los empaques utilizados, es decir, al aumentar el costo y la calidad del producto, se utiliza un empaque de mayor calidad.

La protección física de los empaques utilizados actualmente fue calificada como alta por ser empaques de alta barrera, recomendados según los requerimientos de los productos, sin embargo, estos empaques no son reciclables y en la empresa no han cambiado por materiales amigables con el ambiente porque los costos no les permitirían competir en el mercado.

7.4. Industria de elaboración de bebidas no alcohólicas

La industria de elaboración de bebidas no alcohólicas incluye tanto bebidas carbonatadas como no carbonatadas. En este caso, se analiza el envasado de bebidas no carbonatadas, específicamente jugos de frutas a partir de concentrado y pulpas. Las empresas denotadas como F y G concuerdan en los materiales utilizados, los cuales se muestran en el Cuadro 7.5.

Las empresas entrevistadas poseen una línea principal que corresponde a la elaboración de jugos de frutas y una línea secundaria de producción de jugo de naranja. En cuanto al producto, ambas líneas poseen propiedades y requerimientos similares pero los materiales de

empaques varían por factores de costos, es decir, la línea de producción de jugo de naranja genera un producto de menor valor económico.

Los jugos son bebidas producidas a partir de frutas, agua, azúcar y aditivos. El contenido de agua del producto hace que se requiera un material de empaque con la menor permeabilidad de vapor de agua posible. Tanto el HDPE como el PET cumplen con este propósito, como se observa en el Cuadro 4.1.

Cuadro 7.5. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de bebidas no alcohólicas, sin carbonatación según entrevistas realizadas en dos empresas.

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo Empaque	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
F y G	Línea Principal	Líquido	30 / 25	PET	Envase Traslúcido	Etiquetado y tapa	Buena protección y barrera Facilidad de moldeo Altamente reciclable	Poca disponibilidad de envases y preformas. Mala distribución del material en el envase al ser soplado causa puntos débiles y a veces salen envases defectuosos
				HDPE	Tapa rosca opaca	Sello	Funcional, Reciclable	Más caro.
	Línea Secundaria	Líquido	30 / 25	HDPE	Envase opaco	Etiquetado y tapa	Buena protección física, Económico, Reciclable	Aporta sabor al producto Dificultad de taponeado
				LDPE	Tapa presión opaca	Sello	Facilidad de moldeo, Reciclable	Difícil de abrir

Al ser derivados de frutas son productos que tienden a oxidarse. Para evitar la oxidación, se debe impedir el ingreso de oxígeno dentro del envase mediante una baja permeabilidad a este gas en el material, además de evitar la radiación UV/Visible que cataliza las reacciones de oxidación. La presencia de oxígeno además destruye nutrientes como el ácido ascórbico. Thakur, Joshi, y Thakur (2000) mencionan que esta oxidación puede ocurrir incluso de manera

anaerobia utilizando únicamente el oxígeno disuelto en el jugo, por lo que este se debe desplazar durante el proceso de envasado. En este caso, los envases de PET poseen la baja permeabilidad al oxígeno que se requiere, mientras que el HDPE no, pero los envases transparentes de PET permiten el ingreso de luz en un mayor grado que los envases opacos de HDPE.

Ambas empresas utilizan envases transparentes porque el consumidor prefiere comprar el producto que puede observar. Para alargar la vida útil de estos productos, sin necesidad de utilizar envases opacos, se adhieren algunos preservantes como los antioxidantes. Según Rutledge (1998), la adición de ácido sórbico y benzoico hace que los jugos tengan una vida útil de muchos meses en refrigeración.

La empresa F está certificada como una empresa “cero desechos”, donde reciclan todos los envases que producen, por lo que, en lo que respecta al etiquetado, utilizan etiquetas de polietileno tereftalato, ya sean termoencogibles o con pegamento para poder reciclarlas junto con el envase. La empresa G utiliza etiquetas termoencogibles de polietileno tereftalato glicol modificado o policloruro de vinilo.

Los envases de polietileno de alta densidad son comprados ya listos para envasar en el caso de las dos empresas mientras que la empresa G compra los envases de polietileno tereftalato listos y la F compra la resina preformada y moldea los envases por soplado en sus instalaciones.

El principal problema que presenta el polietileno de alta densidad es que aporta sabor al producto, lo que hace que requiera un mayor control de calidad. Esto puede ser debido a la migración de sustancias como el Irganox 1010, el cual como se indica en el Cuadro 4.9, migra desde el HDPE hacia los líquidos en alimentos.

El HDPE presenta problemas de taponeado y los clientes han presentado quejas con respecto al sistema de apertura, ya que es muy difícil de abrir. Sin embargo, las empresas no lo han cambiado por polietileno tereftalato, porque la inversión en los envases listos o en la resina preformada y las máquinas de soplado es mucho mayor porque la relación de costo del polietileno tereftalato con respecto al polietileno de alta densidad es aproximadamente 70/30 y

según los entrevistados la línea de jugos de naranja genera un producto más económico que la línea principal.

Para el caso del polietileno tereftalato, el problema es que hay poca disponibilidad de proveedores en el mercado nacional y no hay mucha variedad de envases y preformas que se ajusten a los moldes. Además, la mala distribución del material en el envase al ser soplado causa puntos débiles y a veces salen envases defectuosos con menos o más volumen, tapa torcida y/o fondo irregular.

Ambos materiales se encuentran entre los empaques recomendados por Ashurst y Hargitt (2009) para jugos de frutas, pero como se observa en el Cuadros 4.1, el polietileno de alta densidad tiene una permeabilidad al oxígeno aproximadamente 35 veces mayor que la del polietileno tereftalato, lo que puede generar problemas de oxidación y descomposición del producto si no se tiene un tiempo de rotación corto.

A pesar de los problemas descritos, las dos empresas describen la protección física dada por los envases como excelente, sin embargo, el polietileno de alta densidad genera algunos problemas y ambas empresas lo cambiarían por polietileno tereftalato si la inversión fuera factible económicamente.

7.5. Industria de elaboración de aceites y grasas de origen vegetal

Para el caso de grasas y aceites de origen vegetal, una de las empresas visitadas trabaja con grasas sólidas mientras que la otra se encarga de la producción y el envase de aceites líquidos, por lo que los resultados no son comparables entre sí pero dan un panorama de ambas situaciones. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 7.6.

Empresa H

Las margarinas son grasas sólidas producto de la emulsión de mezclas puras de aceite con leche descremada (Ranken et al., 1997). Estas grasas sólidas se empaquetan en un cuarto refrigerado aproximadamente a 10 °C para evitar la separación de fases entre el agua y la grasa y la proliferación de microorganismos al ser un producto con alto contenido de grasa.

La empresa utiliza dos materiales de empaque, según la cantidad de producto a empacar. Para pequeños volúmenes utilizan empaques termoformados de PP con tapas de HDPE. El polipropileno es uno de los materiales recomendados por Paine & Paine (1993). Como se observa en el Cuadro 4.1, este material posee una alta permeabilidad al oxígeno, sin embargo, como los envases se fabrican en la misma empresa, varían el grosor de la pared para obtener una buena barrera que evite la oxidación del producto. Villamizar y Gomez (1992) mencionan que el PP presenta una baja permeabilidad de grasas.

Cuadro 7.6. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de aceites y grasas de origen vegetal según entrevistas realizadas en dos empresas

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim.	Ventajas	Problemas o desventajas
H	Margarina	Crema grasosa	(8-13) / (10-18)	PP	Envase pequeño Opaco	Impresión o etiquetado termo-encogible, vacío, cierre de presión y pruebas de control	Facilidad de moldeo e impresión, Reciclable	Baja barrera de oxígeno Empaques con defectos por las máquinas de inyección
				HDPE	Envase Grande y tapa Opacos	Impresión, vacío, cierre de presión y pruebas de control	Facilidad de moldeo e impresión, Reciclable	Baja barrera de oxígeno Resina escasa en algunas épocas del año
I	Aceite	Líquido grasoso	24 / 32	PET	Envases (menos de 1,5 L) Traslúcido	Sello de aluminio, y tapa, ya sea abre fácil o rosca	Barrera óptima de gases, Reciclable	Dificultad de moldeo
				HDPE	Envases (vol. mayor) Opaco	Sello de aluminio, y tapa, ya sea abre fácil o rosca	Pueden adaptarse para incluir maniguetas que facilitan el manejo del producto, Reciclable	Baja barrera de oxígeno, se requiere más para ser funcional

Para las presentaciones más grandes (1 kg) se utilizan envases termoformados de HDPE con tapa del mismo material. Al ser mayores volúmenes se requiere un material que sea más moldeable sin comprometer la protección del producto. Belcher (2011) menciona que el polietileno de alta densidad es el polímero más utilizado en el moldeo por soplado y presenta muy buenas propiedades mecánicas (Cuadro 4.1).

Al igual que el PP, este material permite el paso de oxígeno y no es una buena barrera contra las grasas, sin embargo, el alimento obtiene una buena protección ya que se puede variar el grosor de las paredes del envase hasta obtener las propiedades de barrera a los gases, grasas y vapor de agua que este requiere, hasta donde las propiedades del material lo permiten, aumentando la vida útil del producto.

Durante la fabricación de ambos empaques, PP y HDPE, las resinas se mezclan con pigmentos que permiten obtener empaques opacos y protegen el alimento de la radiación UV/Visible. En todos los empaques se aplica una lámina metalizada e impresa debajo de la tapa como sello para evitar el ingreso de contaminantes dentro del producto terminado.

Se usan envases impresos o se utilizan etiquetas de policloruro de vinilo termoencogibles. Entre los requerimientos adicionales de los envases están el sellado al vacío, impresión, cierre de presión y pruebas de control.

Entre los problemas presentados por los empaques en esta empresa se encuentran la disponibilidad de la resina, ya que el polietileno de alta densidad escasea en algunas épocas del año y algunos problemas de empaques con defectos por las máquinas de inyección.

Empresa I

La empresa I también utiliza dos tipos de envases dependiendo del volumen envasado. Para volúmenes menores a 1,5 l, utilizan un envase de polietileno tereftalato y para volúmenes mayores utilizan un envase de polietileno de alta densidad. Se realiza la diferencia por facilidad de manejo de los envases, ya que los moldes de polietileno pueden adaptarse para incluir maniguetas, que a la hora de manejar grandes volúmenes con mayores pesos, facilitan el manejo del producto. Para ambos tipos de envases, los requerimientos adicionales incluyen un sello de aluminio, y tapa, ya sea abre fácil o rosca. Los dos empaques utilizados se encuentran dentro de las recomendaciones de Robertson (2013).

Como se observa en el Cuadro 4.1, el HDPE presenta una baja barrera al oxígeno que puede generar la descomposición del producto en un tiempo menor al esperado, donde la vida útil del aceite debería ser de aproximadamente dos años. Sin embargo, el producto posee una alta rotación en el mercado, es decir, este no permanece en las distribuidoras más de tres meses,

por lo que la oxidación en el producto no es perceptible a criterio del entrevistado. Adicionalmente, durante el procesamiento de los aceites se añaden antioxidantes que retardan la aparición de rancidez en el producto, como tocoferol, BHA, BHT y otros mencionados por O'Brien (2009).

El entrevistado indicó que se utilizan envases de HDPE para productos en volúmenes grandes por su facilidad de moldeo, ya que en estos se pueden incorporar maniguetas que ayudan en la manipulación de envases pesados y voluminosos.

En el caso del polietileno tereftalato, tiene una muy baja permeabilidad de oxígeno (ver Cuadro 4.1), por lo que como era de esperarse no se reportan problemas de rancidez. Sin embargo, estos envases permiten una alta transmisión de luz hacia el producto, lo que podría generar problemas de oxidación en el aceite. Grompone (2011) recalca que la tasa de oxidación de aceites envasados en PET es menor a la de aceites envasados en vidrio, sin embargo, la menor tasa de oxidación es la que presentan los aceites envasados en contenedores metálicos, al no estar expuestos a la luz ni al oxígeno. Los envases transparentes se utilizan para que el comprador pueda observar la calidad del aceite por lo que la adición de antioxidantes es necesaria para poder utilizar estos envases. El producto se envasa en una atmósfera libre de oxígeno como una protección adicional.

Ambas empresas describen la protección física presentada por todos los empaques como alta, ya que en los dos casos, la misma empresa productora diseña sus envases con los requerimientos que presenta su producto. Por lo tanto, los problemas están ligados más que todo a la fabricación de los envases y en caso de tener problemas con la interacción con el alimento ellos mismos rediseñan el empaque, variando materiales, grosores de pared, entre otras características.

A pesar de esto, se recomienda diseñar una manigueta que se pueda incorporar al envase PET para sustituir los envases de HDPE utilizados para contener volúmenes grandes, ya que aunque la rotación en puntos de venta es rápida, no se realiza una advertencia al consumidor de que el aceite en envases de HDPE es más propenso a la oxidación.

7.6. Industria de elaboración de productos lácteos

La industria láctea comprende una amplia selección de productos que incluyen tanto la leche en sus distintas presentaciones como sus derivados procesados que son principalmente los quesos, yogurt, natilla, mantequilla, queso crema, helados y crema dulce. En el Cuadro 7.7 se presentan los empaques utilizados en ambas empresas para cada producto.

La leche y sus derivados están compuestos principalmente por grasa, agua, proteína y azúcares. Esto hace que sean propensos al ataque microbiológico. Varnam y Sutherland (2001) destacan que los principales patógenos asociados a los productos lácteos son *Salmonella* y *Campylobacter*.

Según Guizani (2007) la contaminación por microorganismos en productos lácteos, se puede prevenir o reducir mediante limpieza y sanitización de equipo y ambiente, reducción de temperatura, uso de sistemas antimicrobianos, tratamiento térmico y clarificación. La forma de aplicación del tratamiento térmico depende del producto pero el empaque debe ser sellado para evitar que se recontamine el producto.

Los lácteos son sensibles a la oxidación de lípidos y a la destrucción de vitaminas en presencia de oxígeno por lo que se debe controlar el ingreso de este gas y de radiación UV/Visible. Todos estos productos son pasteurizados y homogenizados y dependiendo del uso, se empacan a distintas temperaturas.

La pasteurización o esterilización de la leche fluida se realiza utilizando intercambiadores de calor. La leche tratada se enfría y se empaca asépticamente (Early, 1998).

La empresa J envasa leche en empaques tetra pack® y en garrafones de un galón (3,79 L) de polietileno de alta densidad con tapa de presión de polietileno de baja densidad. El tetra pack® no se analiza para efectos de este proyecto ya que es un material multicapa que incluye no solo polímeros, sino también aluminio y cartón.

El HDPE es un material recomendado por Yam (2010) para el empaque de leche y no se presentan problemas de protección contra el ambiente ni de interacción con el alimento. Los envases opacos de HDPE ofrecen la protección contra la radiación UV/Visible y son

empaques con alta resistencia mecánica, como se observa en el Cuadro 4.1, lo que protege al producto de fugas. El único problema registrado por el entrevistado es que el diseño de la tapa presenta dificultad de apertura.

En la empresa K se utilizan bolsas coextruidas de polietileno con resinas de alta barrera a los gases. Se presenta el problema de que el material es vulnerable a fugas, ya que la resistencia mecánica de las bolsas es baja y al caerse o ser expuestas a picos u objetos punzocortantes no resisten, por lo que requiere de un cuidado adicional a la hora de almacenarlo y distribuirlo y por esto se califica como regular, la protección física al alimento.

La leche en polvo solo se produce en la empresa J. Este producto posee un bajo a_w , lo que lo hace propenso a la absorción de humedad que puede generar problemas adicionales como el “caking” y la contaminación con microorganismos.

Para el empaque, la empresa utiliza dos tipos de bolsas según la cantidad que se empaca. Para grandes cantidades se utilizan bolsas laminadas de polietileno tereftalato con polietileno tereftalato metalizado y polietileno con cierre zipper. En el caso de pequeñas cantidades (menos de 400 g), se usan bolsas laminadas de polipropileno biorientado con polietileno tereftalato metalizado y polietileno.

Según Driscoll & Paterson (1999) para la leche en polvo se recomiendan empaques laminados, como los que se utilizan en la empresa J. Las capas de PET generan una buena barrera al oxígeno y al vapor, lo que protege al producto de la ranciedad y del “caking”. Además, genera láminas rígidas y mecánicamente resistentes. Según Brown (1992) las capas metalizadas se seleccionan por su función como barrera a la luz, especialmente cuando esta es una fuente de degradación en los alimentos. El PET metalizado refuerza las barreras al agua y al oxígeno.

El polipropileno biorientado es extruido en dos direcciones, el cual al ser un polipropileno, presenta muy baja transmisión de vapor de agua pero mayor permeabilidad de oxígeno que el polietileno tereftalato, como se indica en el Cuadro 4.1. Marotta (1998) destaca que las capas de LDPE se incluyen por su alta sellabilidad, facilidad de moldeo, alta fluencia y economía.

Cuadro 7.7. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de productos lácteos según entrevistas realizadas en dos empresas

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
J	Leche Fluida	Líquido	25 / 4	HDPE	Envase de 1 galón Opaco	Tapa presión y etiqueta adhesiva	Buena protección física, Reciclable	Problemas de cierre Dificultades en máquinas
	Leche en polvo	Polvo	25 / 25	PET/PET metalizado /PE	Bolsa grande Opaca	Cierre zipper, sellado, impresión	Empaque de alta barrera	Mucho control ya que el producto tiene larga vida útil, No Reciclable
				BOPP/ PET metal/PE	Bolsa pequeña Opaca	Sellado, impresión		
				PE coextruido	Bolsas Traslúcidas	Cierre zipper, sellado, impresión		
	Quesos	Sólido húmedo	25 / 4	PE coextruido (3 capas)	Bolsas Traslúcidas	Impresión, sellado, termoencogible o vacío	Empaque de alta barrera	Alto impacto ambiental, no reciclables
				PVC/ HDPE	Bolsas Traslúc.	Sellado, impresión		
	Yogurt	Líquido	25 / 4	PS	Lámina Opaca	Sellado, etiquetado impresión o fundas de PET	Reciclable	A veces no corren bien en máq., se abren generando mala barrera
	Natilla, queso crema y cottage, helados	Líquido, Sólidos húmedos	25 / 4	PS	Caja Opaca	Impresión, tapa presión	Facilidad de moldeo e impresión, Reciclable	No
				PE coextruido (3 capas)	Bolsas Opacas	Impresión, sellado	Empaque de alta barrera	Alto impacto ambiental, no reciclables
	Natilla	Líquido	25 / 4	HDPE	Envase grande Opaco	Etiquetado y tapa rosca	Buena protección física, Reciclable	No
Doypack® (7 capas)				Bolsa Opaca	Impresión, tapa rosca	Buena protección física y de barrera Empaque cómodo	Alto impacto ambiental, no reciclables	
Crema Dulce	Líquido	25 / 4	PE coextruido (3 capas)	Bolsas Opaca	Impresión etiquetado sellado	Empaque de alta barrera	Alto impacto ambiental, no reciclables	
Paletas	Sólido Húmedo	-18 / -18	BOPP/ BOPP metaliz.	Láminas Opaca	Impresión, sellado	Empaque de alta barrera	Alto impacto ambiental, no reciclables	
			PP cavitado	Láminas Opaca	Impresión, sellado			

Cuadro 7.7. (Continuación) Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de productos lácteos según entrevistas realizadas en dos empresas

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
K	Leche Fluida	Líquido	25 /25	PE coextruido con resinas de alta barrera	Bolsa Opaca	Impresión, sellado	Empaque de alta barrera	Vulnerable a fugas, requiere más cuidado en almacenamiento o Alto impacto ambiental, No Reciclable
	Natilla	Líquido	7 / 7	Doypack® (monocapa)	Bolsa Opaca	Impresión, sellado, tapa rosca	Reciclable Empaque cómodo	No
				LDPE	Bolsa Opaca	Impresión, sellado	Reciclable Buena sellabilidad	Bolsas frágiles. Mala protección contra la luz, el producto se decolora
				PS	Caja Opaca	Impresión, tapa presión	Facilidad de moldeo e impresión, Reciclable	Quejas por dificultad al abrir el envase de queso crema
Paletas	Sólido Húmedo	-1 / -20	BOPP	Lámina Opaca	Impresión, sellado	Reciclable	Baja protección física	
J y K	Yogurt líquido	Líquido	7 / 7	HDPE	Botella Opaca	Tapa rosca o tapa presión, etiquetas termocogibles de PETG	Buena protección física, Reciclable	Se generan abolladuras en almacenamiento o por la forma del envase. Problemas de cierre
	Helados grandes	Sólido Húmedo	7 / -20	HDPE	Envase Opaco	Impresos, tapa presión	Buena protección física, Reciclable	No

El entrevistado indicó que no se presentan problemas con estas bolsas, sin embargo, este es el empaque que más les preocupa porque el producto tiene una vida útil de 15 meses, por lo que el empaque debe proteger el producto por un plazo igual o mayor a este.

Para el caso de los quesos, nuevamente solo la empresa J los produce. Estos productos presentan un a_w alto, lo que los hace un medio apto para la reproducción de microorganismos como bacterias y mohos. Los empaques utilizados deben ser altamente sellables para proteger el alimento de la contaminación.

La empresa utiliza bolsas de polietileno coextruido para los diferentes tipos de queso y bolsas de cloruro de polivinilideno con polietileno de alta densidad para el queso procesado. El PE, presenta excelentes condiciones de sellabilidad, como se requiere en este caso. Las propiedades del PVDC (cloruro de polivinilideno) no se estudiaron en el presente proyecto. Driscoll y Patterson (1999) recomiendan el uso de empaques laminados. Zhao (2004) recomienda materiales como polietileno de alta densidad y cloruro de polivinilideno, los cuales son utilizados como capas en empaques laminados.

La protección se califica como excelente al ser empaques de alta barrera a los gases, agua y grasas, lo cual es de gran importancia ya que los quesos tienden a ser productos de alto costo.

El yogurt puede encontrarse en dos presentaciones, yogurt regular, que es espeso, y yogurt líquido. Chandan y O'Rell (2013) mencionan que el yogurt requiere tratamientos térmicos intensos para destruir microorganismos patógenos, lo cuales además de enfermar al consumidor, compiten con las bacterias deseadas en el yogurt. Dichos tratamientos térmicos contribuyen a la extensión de la vida útil del producto. El yogurt se enfría antes de ser empacado, por lo que el empaque no requiere tolerar altas temperaturas.

La empresa K produce únicamente yogurt líquido, el cual envasan en botellas de HDPE con tapa rosca o tapa presión de este mismo material. La empresa J utiliza el mismo tipo de envase, que también ha sido recomendado por Zhao (2004). El principal problema que se tiene con este envase es que por la forma que presenta, se generan abolladuras en el almacenamiento, sin embargo, esto no afecta la calidad del producto, solo el aspecto del envase.

Para el caso del yogurt regular, la empresa J usa láminas termoformadas a envases de poliestireno con una cubierta sellada de "foil" de aluminio o PET metalizado. El principal problema con estos es que los empaques a veces no corren bien en máquinas, es decir, se

desajustan y se crean envases defectuosos que se abren generando barrera insuficiente. Sin embargo, según Zhao (2004) los yogurts requieren empaques rígidos de materiales como el poliestireno, siendo este el material utilizado.

La natilla es un producto ácido con alto contenido graso (18 % - 20 %) que se produce por la actividad de bacterias en el ácido láctico de la crema láctea (Clark & Plotka, 2004). Para evitar la permeación de grasas al exterior del empaque, se debe elegir un material con una baja permeabilidad a estas, como los mencionados por Villamizar & Gomez (1992).

En la empresa J, se utilizan cajas de poliestireno con tapa presión, bolsas tri-capas de polietileno coextruido, envases grandes con tapa rosca en polietileno de alta densidad y envases doypack® de siete capas con tapa rosca de polietileno de alta densidad. La persona entrevistada indicó que no se presentan problemas con ninguno de los empaques utilizados en esta línea.

La empresa K utiliza empaques tipo doypack® monocapa con tapa rosca y bolsas de polietileno de baja densidad. El empaque tipo doypack® no presenta problemas y es una mejor alternativa al empaque utilizado en la empresa J ya que es reciclable. La bolsa de polietileno de baja densidad presenta una baja protección física por ser bolsas débiles, como se observa en el Cuadro 4.1, y al exponerse a la luz, la natilla pierde el color, volviéndose transparente. El polietileno de baja densidad no es uno de los materiales que Zhao (2004) recomienda para el empaque de natilla, probablemente por los problemas que este presenta. El autor recomienda empaques de PS, HDPE, PP, PVC o PVDC.

Los helados en pequeños volúmenes se empaquetan en cajas de poliestireno con tapa presión en ambas empresas. El poliestireno presenta una alta permeabilidad de oxígeno (ver Cuadro 4.1), pero los helados se deben mantener en congelación (a -18 °C) por lo que los efectos que la barrera inferior podría generar no se perciben.

En cuanto a los helados en mayores volúmenes, ambas empresas utilizan envases de polietileno de alta densidad con tapa presión, los cuales no presentan problemas ya que como se ha mencionado en apartados anteriores, el HDPE presenta condiciones aptas para el empaque de productos lácteos.

En la empresa J, las paletas de helado se empaacan en laminados de polipropileno biorientado con polipropileno metalizado o láminas de polipropileno cavitado. El polipropileno presenta una buena barrera contra el vapor de agua y las grasas. La laminación mejora la barrera al oxígeno y a la luz, alargando la vida útil del producto. La empresa K empaca las paletas en bolsas de polipropileno biorientado que presenta una protección física baja, lo que hace que el producto pueda sufrir daños durante el transporte y almacenamiento.

La mantequilla, al igual que las margarinas, requiere un empaque con baja permeación de oxígeno ya que es un producto con tendencia a generar rancidez por su alto contenido de grasas. La empresa J utiliza cajas de poliestireno con tapa presión, las cuales presentan una alta permeabilidad de oxígeno. Para evitar la rancidez, la mantequilla debe mantenerse en refrigeración (aproximadamente a 4 °C) y la empresa debe adicionar algunos antioxidantes como tocoferol, BHA, entre otros.

La crema dulce es un producto lácteo enriquecido con grasa láctea y posee aproximadamente un 30 % - 40 % de grasas (Budhkar, Bankar, & Singhal, 2014). La empresa J utiliza bolsas tri-capa de polietileno coextruido para el empaque de estos productos, las cuales no presentan problemas de barrera a los gases ni a las grasas al ser un material coextruido.

La empresa K utiliza empaques tetra pack®, los cuales, como se mencionó anteriormente no se analizaron en el presente proyecto al contener capas de materiales no poliméricos.

El queso crema y el queso cottage son quesos con alto a_w con un pH de aproximadamente 4,6 (Fox et al, 2000). Estas condiciones, además del contenido graso y proteico hace que los productos presenten riesgo de contaminación microbológica.

En la empresa J ambos productos se empaacan en cajas de poliestireno con tapa presión. Se utilizan sellos metálicos para evitar el ingreso de contaminantes al empaque y así mantener la inocuidad del producto. El PS posee una baja permeabilidad a grasas pero la barrera a los gases (oxígeno y dióxido de carbono) y al vapor podría ser mejor para evitar la oxidación del producto, como se observa en el Cuadro 4.1. El poliestireno se encuentra entre los materiales que Zhao (2004) recomienda.

La empresa K solo produce queso crema pero utilizan el mismo material de empaque que la empresa J, sin embargo, el entrevistado indica que han recibido quejas porque el envase es muy difícil de abrir.

Según la empresa J, si el material no sirve, el departamento de empaque busca una alternativa, por lo que no es muy común que existan problemas específicos. Sin embargo, siempre están en busca de proveedores más cercanos para reducir costos, ya que muchos de los materiales que utilizan los importan lo que conlleva a altos costos.

Otro problema detectado por la empresa K es que existen pocos proveedores de tintas que aguanten temperaturas de congelación y refrigeración sin desteñirse.

7.7. Industria de elaboración de productos de panificación

El término productos de panificación se refiere a los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales, ya sean fermentados o no. Entre estos están los diferentes tipos de panes, queques y galletas. Para efectos de este proyecto se analiza el empaque de galletas, ya sean dulces o saladas. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 7.8.

Las galletas son productos de panificación con bajos contenidos de agua (a_w), por lo que se deben empaquetar utilizando materiales con baja permeabilidad al vapor para evitar la ganancia de humedad que conlleva al crecimiento de mohos. Edwards (2007) destaca que, además, estos productos se suavizan si absorben el agua y pierdan la textura crujiente, que es un parámetro de calidad en galletas.

Según Cauvain y Young (2008), a pesar de que se puede limitar el ingreso de agua al empaque, el producto sigue siendo susceptible a deterioro relacionado con la actividad de agua. En productos con a_w menor a 0,3, se genera la autooxidación de los lípidos presentes. Al oxidarse los lípidos se genera rancidez, acompañada de malos sabores y aromas.

Autores como Smith y Simpson (1996) mencionan que la degradación microbiológica es el factor que mayormente limita la vida útil de los productos de panificación. Sin embargo, las galletas presentan bajo a_w , por lo que con evitar el ingreso de agua al empaque, se evitan las condiciones requeridas para la proliferación de microorganismos.

Cuadro 7.8. Materiales de empaque utilizados en la industria de elaboración de galletas según entrevistas realizadas en dos empresas

Empresa	Producto	Caract.	Temp. Empaq./ Almac. (°C)	Material	Tipo	Otros Requerim	Ventajas	Problemas o desventajas
L	Galletas	Sólido seco	25 / 25	PP	Bolsas Traslúcidas	Sellado, etiquetado	Buena barrera al vapor de agua Buena sellabilidad	No se recicla en el país
				PET	Empaque tipo burbuja Traslúcida	Cierre presión, etiquetado	Empaques de alta calidad Buena protección física del producto	No
M	Galletas	Sólido seco	25 / 25	BPP monocapa	Lámina Opaca	Impresión, sellado	Empaques de alta calidad Reciclable	No
				BPP metaliz. BPP multicapa	Lámina Opaca Lámina Opaca	Impresión, sellado Impresión, sellado	Empaques de alta calidad	Alto impacto ambiental, no reciclables
				PS	Bandeja Traslúcida	Sobre-empaque	Buena protección física del producto	Requieren sobre-empaque, lo que implica mayor inversión económica
				PET	Bandeja Traslúcida	Sobre-empaque	Reciclables	

Empresa L

La empresa L es una pequeña empresa que fabrica galletas dulces y saladas y las distribuye en los principales supermercados del país. La mayor parte de sus productos se encuentran empacados en bolsas de polipropileno monocapa. El polipropileno es uno de los materiales recomendados por Robertson (2013) y presenta muy buenas condiciones para el empaque de este tipo de alimentos.

Como se observa en el Cuadro 4.1, el polipropileno tiene una baja permeabilidad de vapor de agua. Sin embargo, estas bolsas son flexibles y no proveen resistencia o protección contra daños por lo que se debe resguardar el producto con cajas durante su distribución y transporte.

Villamizar y Gomez (1992) indican que el material presenta una baja permeabilidad a las grasas pero la alta permeabilidad de oxígeno puede propiciar la rancidez.

Para el empaque en presentaciones grandes, la empresa utiliza burbujas de PET con cierre presión. El polietileno tereftalato es otro de los materiales recomendados y tiene como ventaja que al ser recipientes rígidos y no bolsas, da una mejor protección física a las galletas. En el Cuadro 4.1 se observa que este material no solo presenta una baja transmisión al vapor de agua, sino que también tiene una muy baja permeación de oxígeno. Este material posee baja transmisión de grasas como lo indican Villamizar y Gomez (1992) .

Empresa M

La empresa M es una empresa grande, por lo que los procesos de empaque están más automatizados. Utilizan bolsas de polipropileno monocapa, multicapa y metalizadas, dependiendo de las propiedades de los diferente productos. Como se mencionó anteriormente, este material tiene muy buen rendimiento y la adición de capas solo aumenta la protección que este le da al producto.

Para el empaque de productos más frágiles, la empresa M utiliza bandejas de PET y PS como soporte dentro de los empaque de PP. Estos materiales no se consideran como parte de la barrera ya que no son empaques primarios pero si protegen la integridad física del producto al ser rígidas.

Ambos entrevistados aseguran que no se tiene ninguna clase de problemas con los empaques utilizados porque son empaques de alta calidad y ninguna de las dos empresas realiza pruebas de control ya que, al ser importados, consideran que los empaques son fabricados con materiales certificados que incluyen una ficha técnica con todas las características pertinentes.

Sin embargo, para garantizar que los materiales poseen las características requeridas por el alimento y a la vez validar las fichas técnicas, se podrían realizar pruebas a los materiales recibidos en diferentes entregas a través del año.

7.8. Otros Resultados Relevantes

Se les solicitó a los entrevistados que a partir de una lista de criterios eligieran los tres que consideraban más importantes para la selección de empaques y los ordenaran del más importante al menos importante. A partir de esta información, se elaboró la Figura 7.1, donde se asignaron puntajes a los criterios según la información brindada.

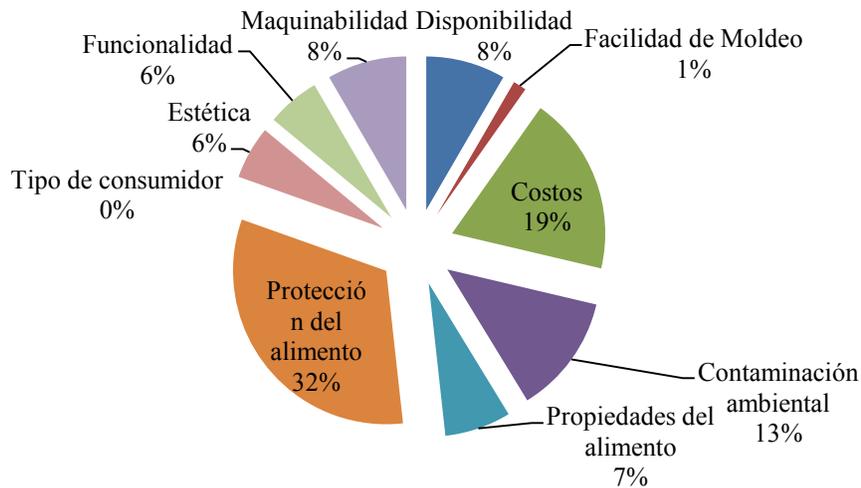


Figura 7.1. Importancia de los criterios de selección de empaques en la industria costarricense de alimentos

Fuente: (Elaboración Propia, 2014)

De la figura anterior se destaca que el criterio más importante en la selección del empaque según los entrevistados en las diferentes industrias es la protección del alimento ya que esto es fundamental para ofrecer un producto inocuo y de calidad. La protección del alimento implica que se elija un material de empaque cuyas propiedades aseguren que el alimento va a mantener sus características sensoriales y que este va a ser seguro para el consumo durante el tiempo determinado de vida útil.

La importancia de este criterio es seguida por los costos, de los cuales dependen las ganancias finales de la empresa y es esencial ya que se debe tener un equilibrio entre el costo del empaque y el costo del producto, especialmente cuando se tienen productos que no son “Premium”, o de calidad superior.

En tercer lugar se encuentra la contaminación ambiental que el empaque genera, lo que refleja que existe una conciencia por parte de las empresas con respecto a este gran problema o que

estas quieren tener una imagen de preocupación por el ambiente ante los clientes. Sin embargo, en muchos casos la inversión en alternativas de empaque amigables con el ambiente hace que los costos se eleven, haciendo que la marca no pueda competir en el mercado por lo que las empresas optan por utilizar los empaques de menor costo aunque pudieran ser más contaminantes.

Entre los otros criterios de menor importancia para los entrevistados se tienen la maquinabilidad y la facilidad de moldeo, que están ligadas con la producción y aplicación del empaque en el proceso y a su vez impactan los costos. La funcionalidad, la estética y el tipo de consumidor son de gran importancia cuando el producto está en el punto de venta ya que esto puede hacer la diferencia a la hora de elegir entre una marca y otra. La disponibilidad del material es de gran importancia, a pesar de representar solo un 8 % para los entrevistados, ya que algunos materiales escasean durante el año en el mercado local, lo que hace que las empresas deban cambiar de material por épocas o destinar un área de bodegas para el almacenamiento. Por último, las propiedades del alimento están directamente ligadas con la capacidad del material para protegerlo por lo que es necesario conocerlas a la hora de elegir el material y esto hace que el criterio deba tener más importancia que el 7 % asignado por los entrevistados.

En cuanto a las condiciones de compra, todas las empresas deben realizar compras mínimas, ya sea de materia prima para fabricar los empaques o de los empaques en sí. Estas varían entre 300 kg y 500 kg. Esto es un problema en empresas más pequeñas, ya que si desean hacer cambios en el empaque de un producto que se mueve poco, se desperdician muchos empaques ya impresos. En los casos en los que no se solicita compra mínima, se trabaja ya sea por programaciones o por pedidos según la producción estimada de la época y el pronóstico de mercado.

El costo empaque/producto también es muy variable, ya que en gran parte, el precio de los empaques depende del costo del petróleo y del tipo de material. En general, el producto se lleva la mayor parte del costo pero la calidad del producto afecta. Es decir, si se tiene un producto “premium” se pueden usar empaques más finos y con mayor valor económico ya que al ser más caros diluyen más el costo. En cambio en productos “populares” pesa más el

costo del empaque. Según los entrevistados, los costos bajan con el volumen, por lo que la utilidad es la que define la cantidad a la hora de realizar la compra.

Los volúmenes de producción de las empresas son variables a lo largo del año ya que la mayoría de los productos existen por temporadas y la gente compra menos en algunas épocas. Sin embargo, la expectativa de las empresas es que aumente el consumo anual aunque generalmente permanece estable.

No se obtuvo información específica con respecto a costos y volúmenes de producción debido a que es información confidencial. Estos datos hubieran sido de gran valor para realizar una comparación entre los volúmenes y costos de los diferentes materiales, los cuales tienen gran peso en la selección del material de empaque.

A partir de la información obtenida al entrevistar a los encargados de empaque en las diferentes empresas con respecto a los proveedores, se realizó un directorio de proveedores de empaques poliméricos en Costa Rica y se complementó con información de Kopper (2001) y Proexport Colombia (2004). Dicho directorio incluye tanto productores nacionales como empresas encargadas de la importación y distribución de dichos empaques dentro del país. El directorio se puede observar a continuación en el Cuadro 7.9.

Cuadro 7.9. Principales proveedores de empaques poliméricos para alimentos en Costa Rica

Proveedor	Productos	¿Productor o Importador?	Ubicación	Tel	Sitio Web
A.E. Bruma y asociados	Láminas termoencogibles Plásticos autoadhesivos, empaques flexibles, doypack ¹³ , bolsas para empaque al vacío, bolsas termoencogibles y rollos para empacar embutidos	Importador	Avenida 10, San José	2257-0317	-
Alimentos Técnicos		Importador	Barrio Córdoba, Zapote, San José	2227-6531	http://www.alitecsa.com
Aluminios Pozuelo	Envases rígidos de PP	Importador	San José, San José	2231-4433	-
Belca	Bandejas de PS y burbujas plásticas de PP	Importador	La Ribera de Belén, Heredia	2239-0147	http://www.belcacr.com/
Biofilm (Suministros Plásticos S.A.)	Láminas de PP	Importador	San José	2222-1634	http://www.biofilm.com.co/

¹³ Bolsas laminadas selladas, diseñadas para mantenerse de pie solas.

Cuadro 7.9. (Continuación) Principales proveedores de empaques poliméricos para alimentos en Costa Rica

Proveedor	Productos	¿Productor o Importador?	Ubicación	Tel	Sitio Web
Bolsas Maroxa S.A.	Bolsas de celofán y PP	Productor	Calle fallas, Desamparados, San José	2250-0927	-
COMECA	Envases PET y HDPE, tapas y baldes HDPE	Productor	Tibás, San José	2289-3084	http://www.grupocomeca.com/
Conoplast	Envases en PE	Productor	Rohrmoser, San José	2232-2902	-
Cyrus Internacional	Empaques, burbujas, bandejas, contenedores y tapas en PP y PS	Importadores	Curridabat, San José	2272-2965	http://cyrusinternacional.com/
Empaques Belén	Materiales de empaque con y sin impresión, bandejas de PS y burbujas de PP	Productor	San Rafael, Alajuela	2438-5119	www.empaquesbelen.com
Empaques Costa Rica	Envases de PS y burbujas transparentes de PP	Importador	Rohrmoser, San José	2290-2070	http://empaquescostarica.com/
Empaques Universal	Empaque flexible liso e impreso	Productor	San Rafael, Alajuela	2438-0707	http://www.empaquesuniversal.com/
Envasa	Doypack® y envases PET	Productor	Tibás, San José	2547-0707	http://www.envasa.com/
Envases Plásticos Industriales S.A (EPI)	Envases y botellas de PE y PP	Productor	Pavas, San José	2213-0183	-
Envases plásticos termoformados LTDA	Empaques de PE, PVC, PS y PP bandejas y botellas	Productor	Calle Blancos, San José	2241-6554	-
EPP	Envases de PE, PC, cierres y preformas PET	Productor	San Joaquín de Flores, Heredia	2265-6500	http://www.eppcr.com/
Flexoprint	Bolsas de HDPE y LDPE	Importador	San Francisco de Dos Ríos, San José	2250-5673	-
Grupo polymer	Bolsas de HDPE y LDPE, envases termoformados	Productor	La Uruca, San José	2232-3496	-
Indelsa	Empaques flexibles de monocapa, multicapa y laminaciones de distintos materiales, Bolsas de PP	Productor	Barrio San José, Curridabat, San José	2272-1282	http://www.indelsacr.com/

Cuadro 7.9. (Continuación) Principales proveedores de empaques poliméricos para alimentos en Costa Rica

Proveedor	Productos	¿Productor o Importador?	Ubicación	Tel	Sitio Web
Inyco S.A.	Bolsas, láminas y rollos de PE, plástico termoencogible	Productor	La Uruca, San José	2520-0155	http://www.inyco.com/
Leapac	Empaques tipo blister ¹⁴ en PVC	Productor	Zona industrial la Granada, Heredia	2238-0548	http://www.plasticosleapac.com/
Mayca	Empaques y contenedores en PS y PP	Importador	Barreal de Heredia, Heredia	2209-0550	http://www.mayca.com/es/
Microplast	Envases de PE, PP, PVC y PET	Productor	Avenida 5, San José	2257-3444	http://microplast.co.cr/
Olefinas	Plástico termoencogible y bolsas en HDPE y LDPE	Productor	Barreal, Heredia	2239-1414	http://www.olefinas.com/
Plásticos Cartago	Bolsas de HDPE y LDPE	Productor	Cartago, Cartago	2537-1115	-
Plásticos M&M	Envases rígidos de PE y PVC	Productor	La Uruca, San José	2221-4394	http://www.plasticosmym.com/
Plásticos Modernos	Envases termoformados e inyectados en PS y PP, impresos	Productor	La Ribera de Belén, Heredia	2293-4010	http://www.plasticosmodernos.com/
Plásticos Puente	Bolsas y rollos impresos en PE y PP	Productor	San Antonio de Belén, Heredia	2293-8463	http://www.plasticospuente.com/
Plástico Tico	Bolsas plásticas en LDPE	Productor	Santa Ana, San José	2282-8717	-
Plastipol	Bobinas de PE termoencogible, con y sin impresión, bolsas lisas o impresas, bolsas para congelación.	Productor	San Francisco de Dos Ríos, San José	2271-4371	http://www.plastipolcr.com/
Poliflex	Bolsas de HDPE y LDPE	Productor	Curridabat, San José	2272-6560	-
Prodex	Mallas de PE y bolsas oxobiodegradables	Productor	Bes Parque industrial, Alajuela	2438-2322	http://www.prodexcr.com/

¹⁴ Es un empaque de plástico transparente con cavidades que se adaptan a la forma de su producto, protegiendo y haciendo lucir el contenido (Innovet, s.f.).

Cuadro 7.9. (Continuación) Principales proveedores de empaques poliméricos para alimentos en Costa Rica

Proveedor	Productos	¿Productor o Importador?	Ubicación	Tel	Sitio Web
Proplax	Bandejas, burbujas y envases termoformados impresos en PS y PP	Productor	Costado Norte Plaza Real Cariari, Alajuela	2293-3232	http://proplax.com/
Qumifarma	Botellas PET y PVC, bolsas doypack®	Importador	San José, San José	2222-4966	http://www.quimifarma.com/
Rafytica (Sacos Agroindustriales)	Sacos de PP, películas y bolsas de PE, envases PET	Productor	Alajuela	2439-6412	http://www.sacos.com.gt/
Ramadú	Bolsas impresas LDPE, platos termoformados y bandejas de PS para carnes	Productor	Pavas, San José	2232-9122	-
Requisa	Láminas para alimentos en PP y bandejas de PS	Importador	La Uruca, San José	2520-0610	http://www.requisa.com/
Roesvi	Envases PET	Productor	Rivera, Belén	4000-5020	-
Sajiplast	Empaques flexibles, láminas de PE, sacos de PP	Productor	Parque regional industrial, Barreal, Heredia	2293-0115	http://www.sajiplast.com/
Stia	Fundas para embutidos, Bolsas de empaque al vacío y termoencogibles, láminas y mallas en distintos materiales	Importador	200 mts. Norte y 150 mts. Oeste de MABE en Heredia	2263-9145	http://www.stia.net/
Tauro	Bolsas y bobinas para equipo de llenado automático de PE extruido (liso e impreso)	Productor	Pavas, San José	2213-3940	http://corporaciontauro.net/
Termopor	Bandejas de PS expandido	Productor	La Uruca, San José	2222-7011	-
Total técnica	Empaques flexibles, bolsas y bobinas en LDPE y termoencogibles	Productor	La Uruca, San José	2257-0887	http://www.totaltecnica.com/
Unican	Empaques de PP, doypack® y empaques termoencogibles de PVC	Importador	Tibás, San José	2257-7490	http://www.industriaunicanflexo.com/

Fuentes: (Kopper, 2001; Proexport Colombia, 2004; Entrevistas a empresas)

De las entrevistas realizadas, se destaca que en el país se utiliza una gran variedad de empaques poliméricos donde existen opciones para todos los productos de la industria de alimentos.

Los polímeros son empaques muy funcionales y se adaptan a distintos productos. El sector industrial se encuentra muy anuente a nuevas opciones de empaque que cumplan con los distintos requerimientos de sus productos. Por otro lado, se tiene una creciente preocupación por el ambiente y la contaminación que la acumulación de estos materiales genera, sin embargo, existe una gran limitante en cuanto a materiales con bajo impacto en el medio ambiente y es que el costo económico de estos hace que los productos que los utilizan no puedan competir en el mercado.

Esto conlleva a la investigación en nuevas tecnologías de empaque y a la mejora de las tecnologías existentes. Algunas de estas se presentan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 8: NUEVAS TENDENCIAS EN EMPAQUES POLIMÉRICOS PARA ALIMENTOS

Con el avance de la tecnología, aumenta la capacidad de mejorar los aspectos que fallan en los empaques actuales. Con esto se logra la disminución del impacto ambiental, se aumenta la vida útil del producto y se mejoran las condiciones de almacenamiento para exportación. En un tipo de empaque debe existir un equilibrio entre la protección al alimento y los costos de materiales, energía, conciencia social y de ambiente y regulación estrictas con respecto a la contaminación y la correcta disposición de desechos (Marsh & Bugusu, 2007). Algunos de estos empaques novedosos se describen a continuación.

8.1. Biopolímeros y polímeros biodegradables

Los biopolímeros son producidos a partir de fuentes renovables como el maíz y el almidón, por lo que son considerados una alternativa sostenible al uso de los polímeros a base de petróleo (Markarian, 2008);. estos se degradan para generar productos amigables con el ambiente como lo son el dióxido de carbono, el agua y materiales compostables (Marsh & Bugusu, 2007).

Esto es una buena alternativa al reciclaje ya que generalmente los desechos poliméricos son descartados entre los desechos comunes del hogar. Por esto, a pesar de que el reciclaje es energéticamente más favorable que el compostaje, no es tan práctico ya que requiere separación y limpieza excesiva de los empaques (Kale et al., 2007). Cabe destacar que no todos los polímeros biodegradables son compostables, es decir, no todos se degradan por los procesos biológicos del compostaje como lo hacen los desechos comunes.

Las propiedades de resistencia al calor, así como dureza de estos materiales no son las mejores por lo que se utilizan aditivos como glicerol y sorbitol, o algún otro poliéster degradable para crear las propiedades óptimas.

El biopolímero más utilizado es el ácido poliláctico, el cual es un polímero termoplástico rígido que puede considerarse como el polímero con el mayor rango de aplicación ya que puede ser cristalizado por estrés o térmicamente, modificado por impacto, llenado, co-

polimerizado y procesado por la mayoría de equipos de procesamiento de polímeros. Este puede ser formado en láminas transparentes, fibras o moldeado en botellas como el PET. Autores como Henton et al. (2005) mencionan que el ácido poliláctico tiene excelentes propiedades sensoriales y es excelente en contacto con alimentos.

En la Figura 8.1 se muestra el compostaje de botellas de este material. Como se observa, la desintegración del polímero, así como su absorción por la tierra toma alrededor de un mes, a diferencia de los polímeros comunes que tardan más de cien años en cumplir este proceso (Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, s.f.).

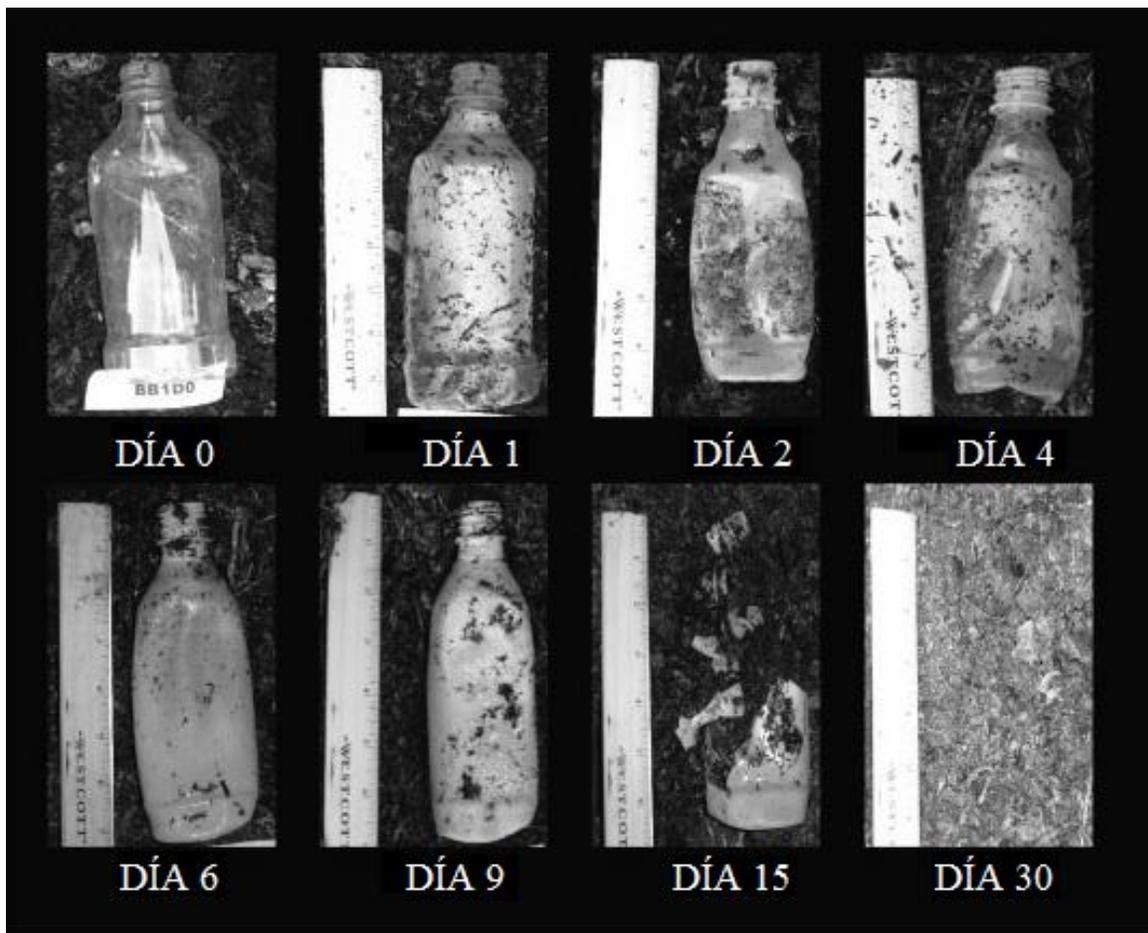


Figura 8.1. Compostaje de botella de ácido poliláctico en un período de 30 días
Fuente: (Kale et al., 2007)

Los polímeros sintéticos también se pueden hacer parcialmente degradables mezclándolos con biopolímeros o componentes bioactivos (oxo-aditivos) que se degradan para hacer que el polímero se rompa en componentes más pequeños (Marsh & Bugusu, 2007). Como se muestra

en la Figura 8.2, al paso de dos meses la lámina ya se está degradando lo que de igual manera implica una reducción significativa en el tiempo de descomposición.

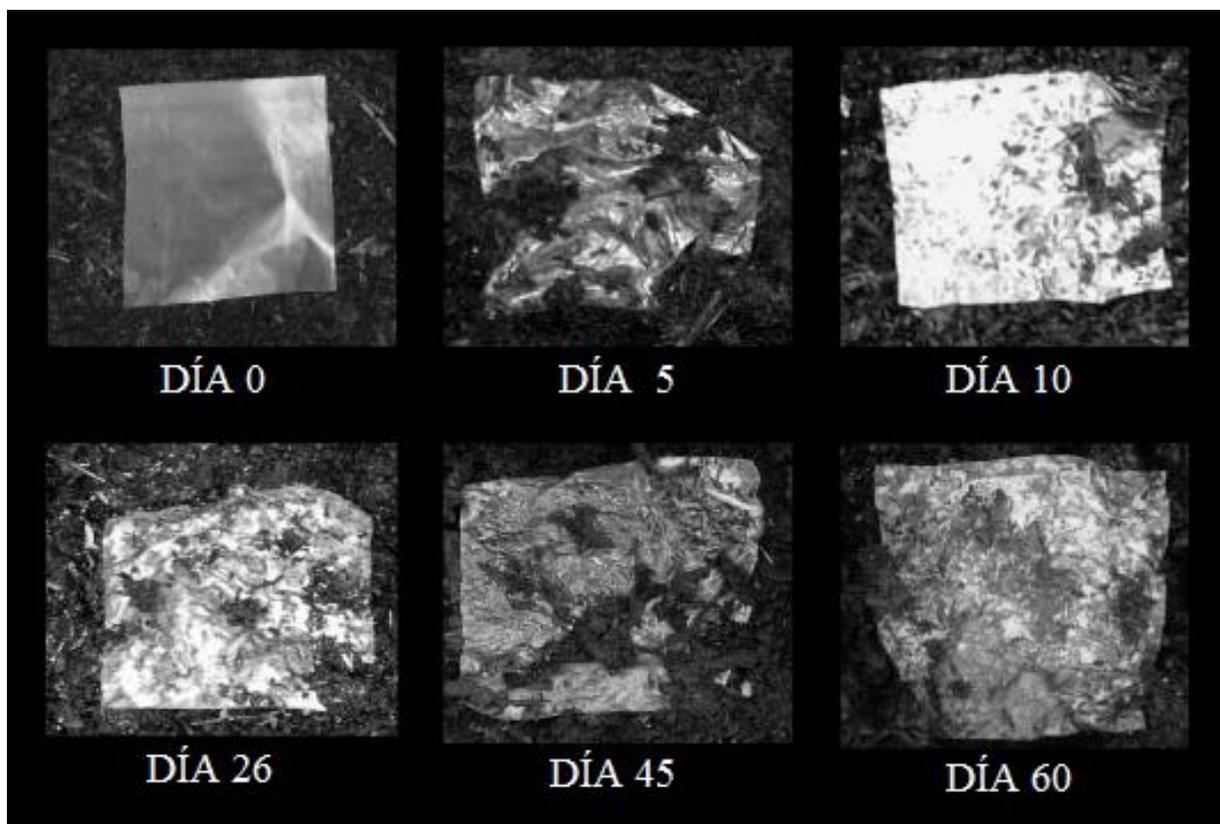


Figura 8.2. Compostaje de lámina de polietileno de baja densidad con un oxo-aditivo en un período de 60 días

Fuente: (Kale, et al., 2007)

Según Rhim & Ng (2007) aún se requieren métodos más eficientes para poder mejorar la fuerza mecánica y la resistencia al agua de los biopolímeros para así poder utilizarlos ampliamente en el empaque en la industria de alimentos.

8.2. Películas comestibles

Las láminas comestibles son otro tipo de polímero biodegradable. Consisten en láminas derivadas de fuentes vegetales y animales como la proteína de maíz, la proteína de leche, el colágeno y la gelatina (Marsh & Bugusu, 2007).

Se trata de una cobertura sobre cualquier tipo alimento utilizada para extender la vida útil del producto, ya sea para ser consumida con el producto o removida previo al consumo. Estas

láminas proveen un reemplazo o un refuerzo a las capas naturales para reducir la pérdida de humedad y a la vez permitir el intercambio de gases importantes como lo son el oxígeno, dióxido de carbono y etileno, que provienen del proceso de respiración. Estas delgadas coberturas, con grosor de menos de 0,3 mm, crean superficies estériles y previenen pérdidas de otros componentes importantes (Embuscado & Huber, 2009). En el Cuadro 8.1 se muestran las proteínas comúnmente utilizadas como láminas y coberturas comestibles.

Cuadro 8.1. Proteínas utilizadas como coberturas o láminas comestibles

Origen	Proteína
Animal	Caseína
	Suero
	Carne
	Albúmina de huevo
	Queratina de plumas
Vegetal	Trigo
	Soya
	Maíz

Fuente: (Embuscado & Huber, 2009)

Los materiales utilizados en estas coberturas deben adaptarse a los requerimientos del alimento que cubren. Entre los aspectos benéficos que aportan los recubrimientos se pueden mencionar (Saborío, 2014):

- Control de procesos de respiración mejorando las propiedades sensoriales del alimento.
- Reducción de reacciones de oxidación.
- Reducción de la pérdida de agua y solutos.
- Permite la incorporación de sustancias o aditivos que favorecen las características del producto final, entre ellas: saborizantes, nutrientes, antioxidantes, colorantes, agentes antimicrobianos, plastificantes y prebióticos.
- Mejoran características físicas como la apariencia y la textura.

Existen películas comestibles de quitosano, el cual es un polisacárido lineal que presenta propiedades únicas como actividad antimicrobiana y capacidad de contener y liberar lentamente ingredientes funcionales (Kapetanakou et al, 2014). Estas láminas son estables, transparentes, resistentes, flexibles y poseen una buena barrera al oxígeno, sin embargo, permiten una alta permeabilidad al vapor de agua (Azeredo, 2012).

8.3. Coberturas biopoliméricas en empaques de papel

El papel es un material muy utilizado en el empaque ya que es biodegradable, esto por ser un producto natural a base de celulosa. Sin embargo, a la hora de empacar alimentos, el papel no es lo más útil ya que posee muy malas propiedades de barrera contra agua y gases, lo que genera la penetración de estos hacia y desde el alimento.

Para contrarrestar esto se han hecho recubrimientos con alcohol etilvinílico, el cual tiene excelente propiedades de barrera contra gases como el oxígeno, pero a la hora de proteger contra el agua, no funciona muy bien, por lo que se requiere recubrir con un polímero adicional, para lo cual se utilizan las poliolefinas. Sin embargo, al hacer esto, el material deja de ser biodegradable (Khwaldia et al, 2009).

Las coberturas biopoliméricas son una alternativa interesante que se está investigando ya que se pueden utilizar para dar diferentes propiedades a los empaques de papel. Algunos ejemplos se muestran en el Cuadro 8.2. Adicionalmente, al mezclar dichas coberturas, se pueden crear mejores barreras, como es el caso de la proteína de maíz, la cual por si sola presenta una barrera a las grasas pero al agregar una capa de cera parafina, esta además genera una barrera al vapor de agua.

Cuadro 8.2. Función de las coberturas biopoliméricas en papel

Biopolímeros	Función
Proteína de Suero (WPI)	Aumenta capacidad de impresión, Barrera a la grasa
Caseinato de Sodio (NaCAS)	Barrera al oxígeno
Caseinato de Sodio (NaCAS)/Capa de cera de parafina	Barrera al vapor de agua
Proteína de Maíz (Zein)	Barrera a la grasa, disminuye efectos de secado y fragilidad
Proteína de Maíz (Zein)/Capa de cera de parafina	Barrera al vapor de agua y a la grasa
Proteína de Soya (SPI)	Barrera a gases y lípidos
Proteína de Soya (SPI) con post-tratamiento de Cloruro de Calcio	Barrera al vapor de agua
Glúten de Trigo (WG)	Barrera al oxígeno
Carragenano	Barrera a la grasa
Hidroxipropil metilcelulosa (HPMC)/cera de abeja	Barrera al vapor de agua
Quitosano	Barrera a la grasa y a los gases
Quitosano/ Capa de aglutinato de sodio	Barrera a la grasa
Quitosano/ Capa de cera de Carnaúba	Barrera a los gases
Cera de parafina	Barrera al vapor de agua

Fuente: (Khwaldia et al, 2009)

8.4. Empaques activos

Son sistemas en los cuales el producto, su empaque y el ambiente interactúan de manera positiva para extender la vida útil del alimento. Dicho de otra manera, es el empaque que cambia activamente su condición para ampliar la vida útil, mejorar la seguridad alimentaria o las propiedades sensoriales, manteniendo la calidad del producto (Valero & Serrano, 2010).

Estos sistemas han sido desarrollados para modificar las condiciones ambientales y fisiológicas dentro del empaque. Se trata de agregar una sustancia con la intención de mejorar la duración del producto alimenticio. Es una extensión de la función de protección del empaque y se usa comúnmente para proteger ante oxígeno, dióxido de carbono, etileno y excesos de agua (Huff, 2008). A continuación se presentan algunos ejemplos específicos de empaques activos.

8.4.1. Polímeros antimicrobianos

Se trata de un material polimérico, ya sea natural o sintético (ver Figura 8.3), al cual se le adiciona una solución antimicrobiana. Esto se puede hacer simplemente esparciendo una capa de solución sobre el material, combinando la solución con aditivos, agregándolo covalentemente, con radiación UV o extruyendo esta con el material (Joerger, 2007).

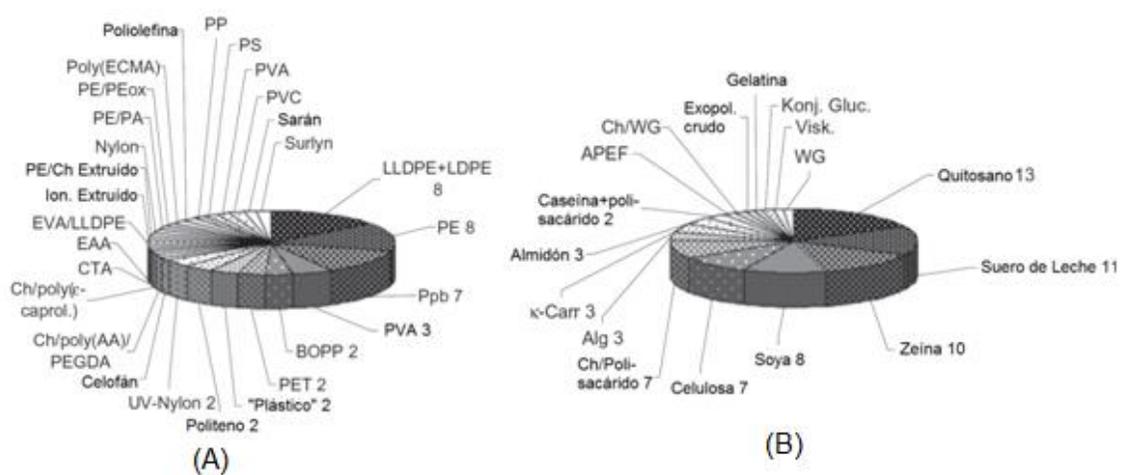


Figura 8.3. Materiales utilizados en polímeros antimicrobianos para (A) películas no comestibles y (B) películas comestibles

Fuente: (Joerger, 2007)

Estos pueden ser de dos tipos, el primer tipo contiene agentes antimicrobianos, como linalol o estragol (extraídos de albahaca) que migran del empaque a la superficie del alimento y el segundo tipo es efectivo contra el crecimiento de microorganismos en la superficie sin necesidad de migrar, como lo es el etanol (Suppakul et al, 2003). En ambos casos el propósito es el mismo, mantener la inocuidad del producto.

8.4.2. Polímeros antioxidantes

Consiste en un sistema multicapa que posee dos láminas de polímero sintético, generalmente polietileno, alrededor de una lámina de agente antioxidante mezclado con proteína, como se observa en la Figura 8.4. El propósito de este tipo de empaque activo es que libere el agente antioxidante a través del tiempo para así aumentar la vida útil del alimento contenido, retardando la oxidación de lípidos y otros compuestos. Por consiguiente, inhibe el cambio de color en los alimentos debido a la oxidación así como la rancidez.

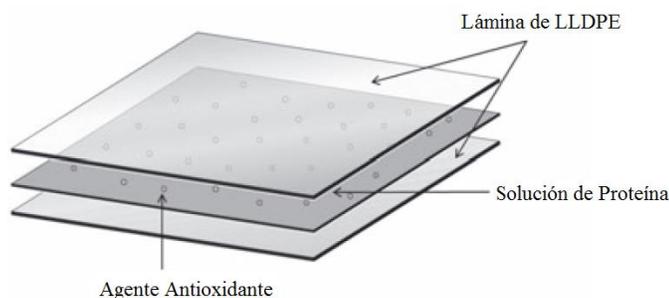


Figura 8.4. Diagrama de lámina de polímero antioxidante
Fuente: (Park, et al., 2012)

8.5. **Empaques inteligentes**

Valero y Serrano (2010) indican que los empaques inteligentes son sistemas capaces de realizar funciones inteligentes, como lo son la detección, grabado, rastreo, comunicación y aplicación de lógica científica, para facilitar la toma de decisiones para extender la vida útil, aumentar la seguridad, mejorar la calidad, proveer información y advertir de posibles problemas. Para esto, se han creado sensores que se colocan dentro o sobre los empaques. Estos pueden proveer información como tiempo, temperatura, niveles de oxígeno y dióxido de carbono, drenaje de empaques o pudrición, frescura o madurez, crecimiento microbiano y presencia de patógenos específicos. En la Figura 8.5 se muestra un ejemplo de este tipo de

empaques. El sensor ripeSense®, detecta la concentración de etileno en el empaque y cambia de color para indicar el estado de madurez de la fruta.



Figura 8.5. Empaque inteligente que indica la madurez de frutas
Fuente: (Vargas, 2012)

8. 6. Nanocompuestos

Los materiales laminados son ampliamente utilizados en el empaque de alimentos ya que generan una barrera óptima de gases, grasas y vapor de agua. Sin embargo, son muy contaminantes y de alto costo. Por estas razones, los nanomateriales con propiedades de barrera mejoradas pueden ser una buena alternativa (Ayhan, 2013).

Los rellenos en nanoescala más prometedores son las arcillas de montmorillonita y kaolinita y las nanoplacas de grafeno. Estos nanocompuestos mostraron mejora en las propiedades físicas, estabilidad térmica, propiedades mecánicas, barrera de gases, propiedades físico-químicas y reciclabilidad de los materiales (Rahman, 2014; Arockia et al, 2014). La incorporación de nanopartículas en los polímeros usados para el empaque de alimentos puede reducir la permeabilidad del oxígeno hasta un 75 %, donde la menor transferencia de oxígeno se registró para el nanoPET (Ayhan, 2013).

El principal riesgo en este tipo de empaques es la migración de nanopartículas a los alimentos, pero no existe información experimental de esto a pesar de que ya existen algunos empaques con nanomateriales en el mercado (Wei et al, 2011).

Algunos casos específicos se mencionan a continuación (Álvarez, 2011):

- Empaque para carne: se desarrolló un material sintético antibacteriano con nanopartículas de plata para empaque de carne. La principal ventaja es que genera un producto con una vida útil más larga, pero existe incertidumbre acerca de si las partículas de plata podrían migrar desde el material de empaque hasta la carne.
- Tomates: la aplicación de una capa nanotecnológica protege los tomates de la humedad y el oxígeno, aumentando la vida útil de estos. Además, los tomates pueden ser cosechados cuando están maduros, resultando en mayor sabor. Nuevamente, existe incertidumbre acerca de los efectos de este material en la salud humana y en el medio ambiente.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

- Se logró preparar un documento con información actualizada que incluye tipos de empaques disponibles para alimentos, el detalle de sus propiedades y los criterios de selección según los requerimientos de los productos, un listado de la oferta de materiales poliméricos en el país, nuevas alternativas de empaque y la legislación relativa a estos materiales, así como un directorio de proveedores y fabricantes de empaques poliméricos a nivel nacional.
- El diseño del instrumento para la recopilación de información sobre empaques en la industria alimenticia fue útil para proveer un panorama de la situación actual de empaque en el país, donde permitió identificar los empaques utilizados en trece empresas para una gran variedad de productos correspondientes a siete sectores de la industria.
- Se encontró que según el instrumento aplicado, el criterio de selección de empaques de mayor importancia para los entrevistados es la protección del alimento, seguido por los costos y en tercer lugar se encuentra la contaminación ambiental que genera.
- Entre los materiales que se utilizan en las industrias entrevistadas del sector de frutas y hortalizas se encuentran: polietileno de baja densidad, poliestireno, policloruro de vinilo, polipropileno, polietileno tereftalato y laminados multicapa.
- En el caso del sector de producción y empaque de chocolates, se encontró que las empresas visitadas utilizan empaques de polietileno de baja densidad, laminados doypack, celofán y polipropileno metalizado.
- Con respecto al sector de procesamiento y conservación de embutidos, la empresa utiliza varios laminados multicapa con nylon, alcohol etilenvinílico, poliéster, polietileno y poliamidas que el proveedor recomienda según los requerimientos del producto.

- Para el sector de bebidas no alcohólicas sin carbonatación, ambas empresas usan envases polietileno tereftalato o de polietileno de alta densidad.
- En el sector de producción y envasado de aceite líquido la empresa entrevistada utiliza envases de polietileno tereftalato, así como polietileno de alta densidad.
- Para el empaque de grasas sólidas, se utilizan empaques de polipropileno y polietileno de alta densidad en la empresa visitada.
- En el caso del sector de elaboración de lácteos, las dos empresas utilizan polietileno de alta densidad, poliestireno, y empaques laminados multicapa.
- Para la industria de panificación y galletería, se utilizan polipropileno, polietileno tereftalato y poliestireno en las empresas visitadas.
- El poliuretano, a pesar de aparecer en la literatura como un material utilizado en el empaque de carnes, verduras y frutas, no es utilizado en las empresas entrevistadas de dichos sectores.
- En las empresas entrevistadas no utilizan un procedimiento para la elección de sus empaques e incluso en la mayoría de los casos no consideran los requerimientos específicos de cada alimento ni las propiedades de los materiales a la hora de elegir sus empaques.
- El análisis de la información de empaques dada por la industria mostró una alta coincidencia respecto a las recomendaciones para cada producto dadas en la literatura y mostro que no hay una solución única para cada producto a empacar.

9.2. Recomendaciones

- Realizar la investigación en empresas de otros sectores para ampliar y cuantificar la información de los empaques poliméricos utilizados en el país.
- Desarrollar metodologías para la selección de empaques en los diferentes sectores de la industria de alimentos. Las metodologías podrían incluir aspectos como: realización de

pruebas en el producto para identificar propiedades de barrera y requerimientos específicos, definición de la apariencia del empaque según las propiedades físicas del alimento, evaluación del tratamiento que requiere el material posterior al uso, análisis de vida útil en las opciones de empaque consideradas y pruebas para la determinación de componentes migrantes en los diferentes alimentos.

- Como un complemento al presente proyecto, se recomienda estudiar la relación de costos entre los diferentes materiales de empaque para definir el impacto real de estos en la selección, así como realizar un estudio de la influencia de los requerimientos de mercado en la selección de empaques ya que ninguno de los dos criterios fueron evaluados en este caso.
- Realizar pruebas mecánicas y de permeabilidad a los materiales utilizados en las industrias para corroborar las características encontradas en la literatura con valores cuantitativos.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA

- A.A.P.P.A. (2003). *Introducción a la tecnología de alimentos* (2a ed.). México D.F.: Limusa.
- Abdullah J., M. (2007). *Normas de Calidad en la Industria Alimentaria a Nivel Europeo e Internacional: Implantación, Problemáticas y Desarrollo*. Granada: Universidad de Granada.
- Aggarwal, P., & Kaur, A. (2012). Developments in Packaging of Fresh Fruits and Fruit Products. En N. Sinha, J. Sidhu, J. Barta, J. Wu, & M. Cano, *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (págs. 277-298). Iowa: Wiley.
- Álvarez, C. (2011). Nanotecnología en la Industria de Alimentos. *ReCiTeIA*, 11(1b), 138-186.
- Arockia, A., Albert, P., & Santhosh, S. (2014). Mechanical and Thermal Behavior and Properties of Hybrid Nano Composite Materials. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 2(3).
- Ashurst, P., & Hargitt, R. (2009). *Soft Drinks and Fruit Juice Problems Solved*. Cambridge: CRC Press.
- Ayhan, Z. (2013). Potential Application of Nanomaterials in Food Packaging and Interactions of Nanomaterials with Food. En C. S. Cimmino, *Ecosustainable Polymer Nanomaterials for Food Packaging: Innovative Solutions, Characterization Needs, Safety and Environmental Issues* (págs. 253-280). CRC Press.
- Azeredo, H. M. (2012). Edible Coatings. En S. Rodrigues, & F. A. Fernandes, *Advances in Fruit Processing Technologies* (págs. 345-362). CRC Press.
- Bates, R. P., Morris, J. R., & Crandall, P. G. (2001). *Principles and Practices of Small- and Medium-scale Fruit Juice Processing*. Roma: FAO.
- Bayer. (2008). *Coatings, Adhesives & Specialties*. Recuperado el 04 de Mayo de 2013, de Bayer Coatings: http://www.bayercoatings.com/bms/db-rsc/bms_rsc_cas.nsf/id/ADEN_Packaging
- Becket, S. T. (2000). *Science of Chocolate*. Cambridge: RSC.
- Belcher, S. L. (2011). Blow Molding. En M. Kutz, *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials* (págs. 267-288). Oxford: Elsevier.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polímeros: procesado y propiedades*. San

Vicente: Universidad de Alicante.

Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: Reverté.

Bolaños, N., Lutz, G., & Herrera, C. H. (2003). *Química de alimentos: Manual de laboratorio*. San José: Universidad de Costa Rica.

Brackett, R. E. (1994). Microbial Spoilage and Pathogens in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. En R. Wiley, *Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables* (págs. 278-290). London: Chapman & Hall.

Brown, R. (1999). *Handbook of Polymer Testing: Physical Methods*. Nueva York: Marcel Dekker, Inc.

Brown, W. E. (1992). *Plastics in Food Packaging: Properties, Design and Fabrication*. Nueva York: Marcel Dekker, Inc.

Budhkar, Y., Bankar, S. B., & Singhal, R. S. (2014). Microbiology of Cream and Butter. En C. A. Batt, *Encyclopedia of Food Microbiology* (págs. 728-737). Londres: Elsevier.

Burns, R. A. (2003). *Fundamentos de química* (Vol. 4a Edición). México: Prentice Hall.

Caballero, Á. E. (2008). *Temas de Higiene de los Alimentos*. La Habana: Ciencias Médicas.

Calderón, J., Chacón, M., & Gutiérrez, C. (2011). *Mapeo tecnológico del sector plástico costarricense*. San José: PROCOMER.

Callebaut. (2008). *Almacenaje*. Recuperado el 06 de Marzo de 2014, de Callebaut: <http://www.callebaut.com/eses/chocophilia/chocolate-abc/almacenaje>

Callister, W. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Reverté.

Carranza, R., Duffo, G., & Farina, S. (2010). *Nada es para siempre: Química de la degradación de los materiales*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Técnica.

Castellán, G. W. (1987). *Fisicoquímica*. México: Pearson Education.

Castro G., M. (2010). *Estudio de los Espectros Dieléctricos para el Control de Calidad de Alimentos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Catalá, R., & Gavara, R. (s.f.). Food Packaging. *Food Engineering*, 3, págs. 428-453.

- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2008). *Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. (s.f.). *México Limpio*. Recuperado el 14 de Julio de 2014, de ¿Cuánto tiempo demora la naturaleza en transformar...?: http://www.uaz.edu.mx/semarnat/cuanto_tarda.html
- Chandan, R. C., & O'Rell, K. (2013). Principles of Yogurt Processing. En R. C. Chandan, & A. Kilara, *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (págs. 239-242). Oxford: Blackwell Publishing.
- Chin, A. W. (2010). *Polymers for innovative food packaging*. Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute.
- CICR. (2013). *Guia Industrial*. Recuperado el 19 de Octubre de 2013, de Cámara de Industria de Costa Rica: http://www.cicr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=710&Itemid=39
- Clark, S., & Plotka, V. (2004). Yogurt and Sour Cream: Operational Procedures and Processing Equipment. En Y. H. Hui, L. Meunier-Goddik, J. Josephsen, W.-K. Nip, & P. S. Stanfield, *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology* (págs. 159-182). Nueva York: Marcel Dekker.
- Costaguta, M. E. (2008). *Chocolate*. Buenos Aires: Albatros.
- Dalmau Garcia, M. R., & Vilardell Coma, J. (2003). *Análisis plástico de estructuras. Introducción*. Barcelona: UPC.
- Danish Technological Institute. (2008). *Guide for Packaging Fresh Fruit and Vegetables*. Dinamarca, Dinamarca: Danish Technological Institute.
- Dash, S. K. (2014). Modified Atmosphere Packaging of Food. En S. Alavi, S. Thomas, K. P. Sandeep, N. Kalarikkal, J. Varghese, & S. Yaragall, *Polymers for Packaging Applications* (págs. 330-360). Florida: CRC Press.
- Davis, J. R. (2004). *Tensile Testing*. Ohio: ASM Internacional.
- Desrosier, N. W. (1997). *Elementos de Tecnología de Alimentos*. México D.F.: AVI.
- Driscoll, R. H., & Paterson, J. L. (1999). Packaging and Food Preservation. En M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation* (págs. 684-734). Nueva York: Marcel Dekker, Inc.
- Durner, E. F. (2013). *Principles of Horticultural Physiology*. Nueva Jersey: CABI.

- Early, R. (1998). Liquid milk and crema. En R. Early, *Technology of Dairy Products* (págs. 1-45). Nueva York: Thomson Science.
- Ebewele, R. O. (2000). *Polymer Science and Technology*. Benin City: CRC Press.
- Edwards, W. P. (2007). *The Science of Bakery Products*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Nueva York: Springer.
- FAO. (s.f.). *Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles*. Recuperado el 06 de Marzo de 2014, de Depósito de documentos de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm>
- Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. Cambridge: CRC Press.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2000). Overview of Cheese Manufactures. En P. F. Fox, T. P. Guinee, T. M. Cogan, & P. L. McSweeney, *Fundamentals of Cheese Science* (págs. 10-17). Maryland: Aspen Publishers, Inc.
- Gavara, R., & Catalá, R. (2002). Mass Transfer in Food/Plastic Packaging Systems. En G. V. Barbosa-Cánovas, J. Welti-Chanes, & J. M. Aguilera, *Engineering and Food for the 21st Century* (págs. 548-565). Florida: CRC Press.
- Giles, H. F., Wagner, J. R., & Mount, E. M. (2014). *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook* (2 ed.). Oxford: Elsevier.
- Greengrass, J. .. (1999). Packaging Materials for MAP of Foods. En B. A. Blakiston, *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods* (págs. 63-101). Nueva York: Chapman & Hall.
- Grompone, M. A. (2011). Sunflower Oil. En F. Gunstone, *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses* (págs. 137-168). Oxford: Blackwell Publishing.
- Guizani, N. (2007). Postharvest Handling of Milk. En S. Rahman, *Handbook of Food Preservation* (págs. 203-214). Florida: CRC Press.
- Gutiérrez, J. B. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Gutiérrez, M. (1993). *Compendio de teledetección geológica*. Asturias: Universidad de

Oviedo.

- Häberle, H. (1979). *Electrónica: Electrónica industrial, radio y televisión*. Barcelona: Reverté.
- Henton, D. E., Gruber, P., Lunt, J., & Randall, J. (2005). Polylactic Acid Technology. En A. Mohanty, M. Mirsa, & L. T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (págs. 528-565). Florida: CRC Press.
- Hernández, A. G. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos* (Vol. 2). Chapultepec: Editorial Médica Panamericana.
- Hidalgo, A., Herrera, R., López, V., & Velásquez, G. (2009). *El sector de la industria alimentaria de Costa Rica: Una perspectiva desde la cadena de valor*. Montes de Oca: UCR.
- Hofberger, R., & Tanabe, N. A. (2007). Chocolate and Cocoa. En Y. H. Hui, *Handbook of Food Products Manufacturing* (págs. 690-691). Nueva York: Wiley.
- Holgate, S. A. (2010). *Understanding Solid State Physics*. Florida: CRC Press.
- Hotchkiss, J. (1997). Food-packaging interactions influencing quality and safety. *Food Additives and Contaminants*, 14(6-7), págs. 601-607.
- Huff, K. (2008). *Active and Intelligent Packaging: Innovations for the Future*. Blacksburg: Virginia Tech.
- INA. (2007). *Manipulación de Alimentos*. San José: Instituto Nacional de Aprendizaje.
- Innovet. (s.f.). Recuperado el 29 de Septiembre de 2014, de Industrializando: <http://industrializando.com/innovet/>
- Japan External Trade Organization . (2007). *Manual del Empaque de Alimentos para los Exportadores a Japón*. Japón: JETRO.
- Joerger, R. D. (2007). Antimicrobial Films for Food Applications: A Quantitative Analysis of Their Effectiveness. *Packaging Technology and Science*, 20(4), 231-273.
- Jones, C. (2011). Packaging. En S. T. Beckett, *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (págs. 551-575). Oxford: Blackwell.
- Kader, A. (2004). *Pineapple: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality*. Recuperado el 09 de Diciembre de 2014, de Postharvest Technology: University of California: <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Pineapple/>

- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S., & Singh, S. P. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255-277.
- Kapetanakou, A. E., Manios, S. G., & Skandamis, P. N. (2014). Application of Edible Films and Coatings on Food. En I. S. Boziaris, *Novel Food Preservation and Microbial Assessment Techniques* (págs. 237–273). Florida: CRC Press.
- Kaplan, W. A. (1998). *Modern Plastics Encyclopedia*. New York: Chemical Week Associates.
- Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., & Desorby, S. (2009). Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1), 82-91.
- Kilcast, D., & Subramaniam, P. (2004). *The Stability and Shelf Life of Food*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kirk-Othmer. (2007). *Food and Feed Technology*. Nueva York: Wiley.
- Kontominas, M. G. (2009). Packaging and the Shelf Life of Milk. En G. L. Robertson, *Food Packaging and Shelf Life* (págs. 82-99). Florida: CRC Press.
- Kopper, G. (2001). *Análisis de la situación nacional respecto a los materiales de empaque utilizados para alimentos*. Montes de Oca: UCR.
- Laurila, E., & Ahvenainen, R. (2002). Minimal Processing in Practice. En T. Ohlsson, & N. Bengtsson, *Minimal Processing Technologies in the Food Industries* (págs. 219-244). Florida: CRC Press.
- Leadbitter, J., Day, J. A., & Ryan, J. L. (1997). *PVC: Compounds, Processing and Applications*. Shropshire: Rapra technology LTD.
- López, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado*. Roma: FAO.
- López, M. (1 de Enero de 2011). *Characteristics Of Food Packaging*. Recuperado el 3 de Mayo de 2013, de Artipot: <http://www.artipot.com/articles/773635/characteristics-of-food-packaging.htm>
- MacBean, R. D. (2009). Packaging and Shelf Life of Yogurt. En G. L. Robertson, *Food Packaging and Shelf Life* (págs. 143-153). Florida: CRC Press.
- Mark, J. (1999). *Polymer Data Handbook*. Oxford: Oxford University Press, Inc.

- Markarian, J. (2008). Biopolymers present new market opportunities for additives in packaging. *Plastics, Additives and Compounding*, 10(3), 22-25.
- Marotta, C. D. (1998). Packaging Materials. En M. Sherman, *Medical Device Packaging Handbook* (págs. 51-134). Nueva York: Marcel Dekker, Inc.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food Packaging: Roles, Materials and Environmental Issues. *Journal of Food Science*, 72(3), 39-55.
- Menéndez, J. R. (1999). *Conceptos de electromagnetismo*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- MINECO; CONACYT; MIFIC; SIC; MEIC. (2010). *Reglamento Técnico Centroamericano de la Industria de Alimentos Y Bebidas Procesados*. Nicaragua: RTCA 67.01.33:06.
- Morales, C. d. (2011). *Determinación de Indicadores de Calidad por Apariencia para Vegetales Frescos Precortados*. Chía: Universidad de la Sabana.
- Nieto A., C. (January de 2011). Celofán y diálisis. *Agenda Química Virtual*, 4.
- O'Brien, R. D. (2009). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*. Florida: CRC.
- Omnexus. (2013). *Polymer Properties*. Recuperado el 12 de Octubre de 2013, de Omnexus by SpecialChem:
<http://www.omnexus.com/tc/polymerselector/polymerprofiles.aspx?lr=google&gclid=CMz288LukboCFQlgMgodk2wAlw>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1989). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. Santiago: FAO. Recuperado el 06 de Marzo de 2014, de Depósito de documentos de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations):
<http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm>
- PAFA. (2011). *Material*. Recuperado el 04 de Mayo de 2013, de Packaging and Films Association: <http://www.pafa.org.uk/materials/polyamide>
- Paine, F. A., & Paine, H. (1993). *A Handbook of Food Packaging*. Londres: Chapman & Hall.
- Papaleo, P. (2010). *BOPP, el film preferido para envases flexibles*. Obtenido de Packaging enfasis: <http://www.packaging.enfasis.com/articulos/16807-bopp-el-film-preferido-envases-flexibles>
- Park, H.-Y., Kim, S.-J., Kim, K. M., You, Y.-S., Kim, S. Y., & Han, J. (2012). Development of

- Antioxidant Packaging Material by Applying Corn-Zein to LLDPE Film in Combination with Phenolic Compounds. *Journal of Food Science*, 77(10), 273-279.
- Pasto, D. J., & Johnson, C. R. (1981). *Determinación de estructuras orgánicas*. Barcelona: Reverté.
- Peacock, A. (2000). *Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications*. Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Peregrine, E. (28 de Junio de 2013). *General Regulatory Statement Symphony Environmental d2w Polyolefin Degradable Additive Masterbatches*. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, de Symphony Environmental: <http://ecoplastic.pl/wp-content/uploads/2013/11/Food-Contact-Statment-62013.pdf>
- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2010). Packaging and the Shelf Life of Vegetable Oils. En G. L. Robertson, *Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide* (págs. 318-334). Florida: CRC Press.
- Pocas, M. F., & Pintado, M. (2009). Packaging and Shelf Life of Cheese. En G. L. Robertson, *Food Packaging and Shelf Life* (págs. 103-122). Florida: CRC Press.
- Poder Ejecutivo. (2011). *Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios*. San José: N° 36093-S.
- PolyInfo. (2013). *PolyInfo*. Recuperado el 11 de Octubre de 2013, de National Institute of Materials Science (NIMS): http://polymer.nims.go.jp/index_en.html
- Potter, M. C., & Wiggert, D. C. (2002). *Mecánica de fluidos*. México: Thomson.
- PROCOMER. (2014). *Portal estadístico del comercio exterior*. Recuperado el 27 de Octubre de 2014, de Promotora del comercio exterior de Costa Rica: <http://servicios.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>
- Proexport Colombia. (2004). *Estudio de Mercado - Costa Rica: Sector de envases y empaques*. Bogotá: Convenio ATN/MT-7253-CO.
- RAE. (2001). *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de Real Academia Española: <http://lema.rae.es/drae/?val=Oferta>
- Rahman, M. S. (2014). Innovation in Food Packaging. En J. K. Sahu, *Introduction to Advanced Food Process Engineering* (págs. 293-314). Florida: CRC Press.
- Ramaswamy, H. S., Smith, J. P., & Zagory, D. (2004). Packaging of Fruits and Vegetables. En

- D. M. Barrett, L. P. Somogyi, & H. S. Ramaswamy, *Processing Fruits Science and Technology* (2a ed.). Florida: CRC Press.
- Ramesh, M. N. (2007). Pasteurization and Food Preservation. En M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation* (2da ed., págs. 571-582). Florida: CRC Press.
- Ranken, M. (2003). *Manual de Industrias de la Carne*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ranken, M., Baker, C. G., & Kill, R. (1997). *Food Industries Manual*. London: Blackie Academic and Profesional.
- Rhim, J.-W., & Ng, P. K. (2007). Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411-433.
- Robertson, G. L. (1992). *Food Packaging: Principles and Practice*. Nueva York: Marcel Dekker, Inc.
- Robertson, G. L. (2013). *Food Packaging: Principles and Practice* (3a ed.). Florida: CRC Press.
- Rodríguez, I. (22 de Junio de 2011). *Costos de empaques impacta en precios*. Recuperado el 30 de Abril de 2013, de CNN Expansión: <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/2011/06/22/costos-de-empaques-impactan-en-precio>
- Rodríguez, V. M. (2008). *Bases de la Alimentación Humana*. La Coruña: Netbiblio.
- Rotondo, R., Ferratto, J. A., & Firpo, I. T. (2008). Hortalizas minimamente procesadas o de IV Gama. *Agromensajes*, 26.
- Rudnik, E. (2008). Environmental impact of compostable polymer materials. En *Compostable polymer materials* (págs. 182-199). Oxford: Elsevier Ltd.
- Rutledge, P. (1998). Production of Non-fermented Fruit Products. En D. Arthey, & P. Ashurst, *Fruit Processing* (págs. 70-98). London: Blackie Academic & Professional.
- Sablani, S. S., & Rahman, M. S. (2007). Food Packaging Interactions. En M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation* (2a ed., págs. 939-951). Florida: CRC Press.
- Saborío, L. (2014). *Formulación y Evaluación del Uso de Recubrimientos Comestibles a Base de Gelano Sobre Trozos de Piña Frescos Cortados para Minimizar el Deterioro de Atributos de Calidad y Pérdida de Masa*. San José: Universidad de Costa Rica.

- Salinas Hernández, R., & González Aguilar, G. (2007). Modelación del Deterioro de Productos Vegetales Frescos Cortados. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183-196.
- Sánchez, M. T., & de las Infantas, P. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Serway, R. A., & Faughn, J. S. (2001). *Física*. México: Pearson Education.
- Seymour, R. B., & Carraher, C. E. (2002). *Introducción a la química de los polímeros*. Barcelona: Reverté.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., & Rizvi, S. S. (2003). *Ingeniería de Alimentos: Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. México D.F.: Limusa.
- Smith, J. P., & Simpson, B. K. (1996). Modified Atmosphere Packaging. En R. Hebeda, *Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation, and Inhibition of Staling* (págs. 205-220). Nueva York: Marcel Decker.
- SPI. (2012). *Recycling*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2013, de Plastics Industry Trade Association:
<http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=1271&navItemNumber=1125>
- Steele, R. (2004). *Understanding and measuring shelf-life of food*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S. (2003). Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. *Concise Reviews and Hypotheses in Food Science*, 68(2), 408-420.
- Tehrany, E. A., & Sonneveld, K. (2009). Packaging and the Shelf Life of Milk Powders. En G. L. Robertson, *Food Packaging and Shelf Life* (págs. 128-137). Florida: CRC Press.
- Thakur, N. S., Joshi, V. K., & Thakur, N. K. (2000). Principles and Methods of Preservation of Fruits and Vegetables. En D. V. L. R. Verma, *Postharvest Technology of Fruits and Vegetables* (págs. 148-181). Nueva Delhi: Indus Publishing Co.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología* (Vol. 1). Barcelona: Reverté.
- Todorova, V. (14 de Abril de 2013). Are biodegradable bags in the UAE doing more harm than good? *The National*.

- Twede, D., & Selke, S. E. (2005). *Cartons, Crates and Corrugated Board: Handbook of Paper and Wood Packaging Technology*. Pennsylvania: DEStech Publications.
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. Florida: CRC Press.
- Van der Vegt, A. (2002). *From polymers to plastics*. Delft: VSSD.
- Vargas, C. (15 de Octubre de 2012). *Envases inteligentes*. Recuperado el 11 de Febrero de 2014, de Revista INESEM: <http://revistadigital.inesem.es/sociosanitario/envases-inteligentes/>
- Varnam, A., & Sutherland, J. P. (2001). *Milk and Milk Products: Technology, Chemistry and Microbiology*. Nueva York: Aspen Publishers, Inc.
- Vela, M. C., Blanco, S. Á., & Carbonell, J. L. (2006). *Ciencia y tecnología de polímeros*. Valencia: Universidad Politécnica.
- Vélez, J., & Soriano, A. (2003). Evaluación de las propiedades físicas de alimentos utilizando un programa computacional. *Información Tecnológica*, 14(4), 23-28.
- Villamizar F., C. A., & Gomez M., D. (1992). *Hablemos de empaques y envases para productos perecederos*. Bogotá: SENA.
- Wani, A. A., Singh, P., Pant, A., & Langowski, H. (2015). Packaging Methods For Minimally Processed Foods. En M. W. Siddiqui, & M. S. Rahman, *Minimally Processed Foods* (págs. 35-55). Suiza: Springer.
- Wei, H., YanJun, Y., NingTao, L., & LiBing, W. (2011). Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. *Chinese Science Bulletin*, 56(12), 1216–1225.
- Wilson, J. D., & Buffa, A. (2003). *Física*. México: Pearson Education.
- WTSC. (2010). *Incoterms*. Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de The World Trade System: <http://www.wtsc.eu/asociados/index.htm?incoterms.htm~index2>
- Yam, K. (2009). *The Wiley encyclopedia of packaging technology*. USA: Wiley.
- Yam, K. L. (2010). *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). *Intelligent Packaging: Concepts and*

Applications. *Concise Reviews in Food Science*, 70(1), 1-10.

Zhao, Y. (2004). Semisolid Cultured Dairy Products: Packaging, Quality Assurance, and Sanitation. En Y. .. Hui, L. Meunier-Goddik, √. S. Hansen, J. Josephsen, W.-K. Nip, P. S. Stanfield, & F. Toldra, *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. Florida: CRC Press.

Apéndices

Apéndice A. Panorama del sector plástico para el año 2004

Cuadro A.1. Composición de la producción nacional en el sector plástico para el año 2004

Productos	Porcentaje	Ton/año	Valor US\$
Empaque flexible	38 %	64 866	171 000
Moldeo, perfiles, accesorios y tubería	22 %	37 554	99 000
Inyección, soplado de botellas y envases	15 %	25 605	67 500
Inyección doméstica	15 %	25 605	67 500
Termoformado y otros	10 %	17 070	45 000
TOTAL	100 %	170 700	450 000

Fuente: (Proexport Colombia, 2004)

Cuadro A.2. Consumo de la industria de envases para el año 2004

Tipo	Ton/año
Polietileno de alta densidad	9600
Polietileno de baja densidad	3000
PET	10 800
Otros	720
TOTAL	24 120

Fuente: (Proexport Colombia, 2004)

Apéndice B. Ingredientes utilizados en la producción de embutidos

Cuadro B.1. Características de algunos ingredientes utilizados para la producción de embutidos varios

Ingrediente	Nivel de Grasa (%)	Proporción de Color (/100)	Propiedad de ligar (/100)	Contenido de proteína (%)	Razón humedad/proteína	Agua añadida (%)
<i>Cerdo</i>						
Carne de paletilla	8	80	95	19,2	3,76	16,20
Hígado	8	80	-	20,6	3,47	23,10
Carne de mandíbula	8	80	80	20,9	3,40	24,90
Orejas	10	10	20	22,5	3,00	36,00
Recortes 95 %	10	70	90	18,9	3,73	16,80
Corazones	12	80	90	18,6	3,73	16,60
Estómagos, escaldados	13	20	5	16,7	4,20	7,30
Bazos	15	60	-	15,9	4,33	5,20
Carne hocico	15	45	70	17,9	3,74	16,20
Papadas, recortes	15	65	75	17,8	3,79	15,20
Carne esófago	17	80	80	16,4	4,05	10,10
Diafragmas, músculo	17	75	75	16,9	3,91	12,40
Corazones	17	85	30	15,3	4,40	4,20
Jamón deshuesado	19	60	80	16,9	3,80	15,20
Lenguas	19	15	20	16,3	3,95	11,90
Carne picada parcialmente desengrasada	21	50	50	17,4	3,54	19,90
Recortes 80 %	25	50	80	15,8	3,72	16,00
Carne cabeza	25	50	80	16,1	3,60	11,80
Recortes paletas	25	60	80	15,6	3,80	14,40
Recortes pescuezo	25	60	70	15,9	3,55	19,00
Diafragmas	30	50	45	14,2	3,90	12,60
Labios	31	5	10	20,1	3,41	23,80
Piel	32	5	20	28,3	1,40	92,60
Recortes lengua	32	15	10	15,6	4,34	5,10
Hocicos	35	5	10	14,6	3,45	19,90
Tejido desengrasado parcialmente	35	15	20	14,0	3,63	16,80
Recortes 50 %	55	35	20	9,7	3,64	15,00
Recortes piel cabeza	55	15	50	9,2	3,90	12,00
Recortes regulares	60	30	35	8,4	3,77	13,10
Recortes grasa dorsal	62	25	15	8,1	3,71	13,60
Papadas sin piel	70	20	5	6,3	3,72	13,10
Recortes panceta	70	20	30	6,3	3,75	12,80
Tiras de bacon	70	10	5	8,8	2,40	26,50
Grasa dorsal, no recortada	80	20	30	4,2	3,83	11,90

Cuadro B.1. (Continuación) Características de algunos ingredientes utilizados para la producción de embutidos varios

Ingrediente	Nivel de Grasa (%)	Proporción de Color (/100)	Propiedad de ligar (/100)	Contenido de proteína (%)	Razón humedad/proteína	Agua añadida (%)
<i>Vacuno</i>						
Carne esófago	6	75	80	17,8	4,20	7,10
Carne toro	8	100	100	20,8	3,40	24,80
Hígado	9	80	-	20,7	3,40	23,60
Carne de baca	10	95	100	19,0	3,65	18,60
Pescuezos deshuesados	10	85	85	19,5	3,57	20,40
Tripas	11	5	10	12,8	5,90	(16,20)*
Fundidos	12	95	20	18,9	4,20	7,20
Pulmones	12	75	5	17,5	4,00	11,00
Carne de pierna	12	90	80	16,8	4,20	7,20
Carne vaca doméstica	12	95	100	18,8	3,65	18,40
Recortes 85/90 %	15	90	85	18,9	3,45	22,70
Carrilladas	15	90	85	18,3	3,59	19,40
Lenguas	20	25	20	15,5	4,15	8,40
Recortes de lenguas	40	15	15	12,6	3,75	14,60
Labios	20	5	20	15,9	4,00	11,00
Carne de vacuno picada, parcialmente desengrasada	20	50	45	20,0	3,00	33,20
Corazones	21	90	30	14,9	4,30	6,00
Carne cabeza	25	60	85	16,4	3,54	19,40
Tejido desengrasado parcialmente	25	30	25	18,9	3,20	15,20
Recortes 75/85 %	25	85	80	16,9	3,41	22,20
Omblicos deshuesados	52	65	55	10,5	3,55	16,30
Faldas deshuesadas	55	55	50	9,9	3,54	16,20
Recortes fríos	65	20	15	8,0	3,40	16,30
Grasa vacuna	85	10	5	3,3	3,55	11,30
Paletillas	10	95	100	20,0	3,50	19,90
<i>Terneras</i>						
Recortes	10	70	80	19,4	3,62	19,30
<i>Ovino</i>						
Ovino mayor sin huesos	15	85	85	18,1	3,70	17,10

*Se debe remover.

Fuente: (Ranken, Manual de Industrias de la Carne, 2003)