
MIGRACIÓN QUÍMICA DESDE ENVASES FABRICADOS CON POLIPROPILENO HACIA ALIMENTOS GRASOS

CHEMICAL MIGRATION FROM CONTAINERS MANUFACTURED WITH POLYPROPYLENE TOWARDS FATTY FOODS

Tuárez-Párraga, Miguel Alejandro; Laz-Mero, Mabel Leonela;
Córdova-Mosquera, Rosa Alexandra; Conforme Montesdeoca,
Jacqueline Verónica

Miguel Alejandro Tuárez-Párraga

miguel_tuarez@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí,
Ecuador

La Fabril S.A., Ecuador

Mabel Leonela Laz-Mero

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí,
Ecuador

Universidad Técnica de Manabí., Ecuador

Rosa Alexandra Córdova-Mosquera

Universidad Técnica de Manabí., Ecuador

Jacqueline Verónica Conforme Montesdeoca

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Revista ESPAMCIENCIA

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador

ISSN: 1390-8103

Periodicidad: Semestral

vol. 13, núm. 1, 2022

revista@espam.edu.ec

Recepción: 07 Enero 2022

Aprobación: 16 Junio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/527/5274203007/>

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i1.286



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: Los alimentos procesados presentan migración de compuestos químicos posterior al proceso de envasados, siendo así que los principales migrantes provienen desde envases plásticos, en los cuales se agregan múltiples aditivos para mejorar las propiedades funcionales de los polímeros e incorporarlos dentro de procesos de transformación y posterior uso en plantas envasadoras. Adicionalmente el uso de nuevos materiales ha aumentado y con ello el número de peligros que están incorporados dentro de su estructura química por lo cual el presente estudio tiene con objetivo identificar posibles compuestos químicos que migran desde envases fabricados con materiales plástico a base de resina polipropileno (PP) que se usan para estar en contacto directo con alimentos grasos. Debido a lo expuesto previamente, se realizó una investigación de tipo revisión bibliográfica identificando la lista de compuestos químicos con potencial riesgo hacia la salud del consumidor, siendo los compuestos de bajo peso molecular uno de los problemas más importante, sin embargo, este tipo de materias primas siguen ganando terreno en el mercado, de los resultados obtenidos de varias investigaciones muestran que el 83% migración de compuestos químicos proviene de mezcla entre (Irganox 1076, Irganox 1010 e irgafos168). De esta manera esta investigación constituye una fuente de información bibliográfica importante para realizar un estudio especializado sobre migración de compuestos hacia los alimentos y punto de partida para implementar seguimientos o regulaciones sobre compuestos migrantes en envases de PP en el Ecuador.

Palabras clave: Migración plástica, polipropileno, empaques para alimentos, migración específica, migración global.

Abstract: Processed foods present migration of chemical compounds after the packaging process, and the main migrants come from plastic containers, in which multiple additives are added to improve the functional properties of polymers and incorporate them into transformation processes and subsequent use in packing plants. Additionally, the use of new materials has increased and with it the number of hazards that are incorporated into its chemical structure, which is why this study

aims to identify possible chemical compounds that migrate from containers made of plastic materials based on polypropylene resin (PP) that are used to be in direct contact with fatty foods. Due to the above, a bibliographic review type investigation was carried out, identifying the list of chemical compounds with potential risk to the health of the consumer, being low molecular weight compounds one of the most important problems, however, this type of raw materials continues to gain ground in the market, from the results obtained from various investigations show that 83% migration of chemical compounds comes from mixing between (Irganox 1076, Irganox 1010 and irgafos168). In this way, this research constitutes a source of important bibliographic information to carry out a specialized study on the migration of compounds into food and a starting point to implement monitoring or regulations on migrating compounds in PP containers in Ecuador.

Keywords: Plastic migration, polypropylene, food packaging, specific migration, global migration.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los alimentos son envasados en diferentes tipos de empaques manteniendo una interacción permanente con el producto, por esta razón, existen diversos tipos de investigaciones para minimizar pérdidas de las características organolépticas y mejorar su shelf life (Simoneau, 2008); (Reglamento de Comisión Europea No 10, 2004). De tal manera Vitrac y Hayert (2005); Fakirov (2021) refieren que, durante los últimos años, la exposición de los materiales de envasado con los alimentos, atrayendo la atención pública e interés de las autoridades reguladoras europeas, debido a las elevadas concentraciones de sustancias liberadas desde los materiales de empaques hacia productos alimenticios.

Siendo así, que esta interacción es un aspecto importante a controlar para garantizar la seguridad alimentaria durante el envasado de productos y el uso de plásticos en contacto con alimentos. Así mismo, los aditivos que se utilizan para mejorar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los polímeros que pueden moverse libremente dentro de la cadena polimérica, de modo que, existe el riesgo de migración de compuestos químicos desde el envase hacia el producto contenido en su interior (Helmroth et al., 2002); (Chea et al., 2015).

Se debe agregar que Garde et al. (2001) consideran que la migración es un proceso de transferencia de masa mediante el cual las sustancias de bajo peso molecular presentes en el empaque se liberan al medio ambiente o al producto contenido, dependiendo de muchos factores tales como: tipos de polímero, condiciones de tiempo, temperatura fijas, tipo de alimento, espesor de envase, grado de polimerización, entre otros, destacando que la migración suele ser mayor hacia los alimentos grasos (Feigenbaum et al., 1995) (VomBruck et al., 1981).

Por otro lado, varios autores como Dangaran y Krochta (2007); Robertson (2012) indican que para la fabricación de los envases se utilizan materiales como: papel, metal, cerámica, aluminio, vidrio y plástico, siendo así que este último, presenta una creciente demanda evidenciada por la aceptación de los consumidores, y por ende el crecimiento de la fabricación de resinas plásticas, de tal manera que Plastics-The Facts (2019) en su informe reporta que la producción mundial por año es 368 millones de toneladas (Mt) de plástico, con 19,4% de participación del polipropileno, equivalente a 71,39 (Mt); y, por consiguiente, el 39,6% (28,27 Mt) tiene una aplicabilidad extensa en la fabricación de envases para diversos tipos de

productos, por otra parte Ecuador no es la excepción de tal manera que el PP es el material más importado siendo así que el BCE (BC, 2022) reporta 105 736 Toneladas(Tn) durante el 2021.

Después de todo, para aumentar el interés de los alimentos envasados en los consumidores, se ofertan envases que garanticen las características funcionales durante su venta y posterior distribución (Robertson, 2012), manteniendo los valores nutricionales (Çinibulak, 2010), debido a la excelente barrera para el gas, el agua, y otros compuestos ofreciendo buena protección a los productos (Simoneau, 2008).

Adicional a esto Fouad et al. (1999); Lau y Wong (2000) sostienen que existen debates sobre el uso del plástico, debido a la estrecha relación con problemáticas demostradas en áreas sanitarias y ambientales, por lo cual para armonizar la legislación, la UE (Unión Europea) y la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) iniciaron controles globales a través de listas positivas de sustancias que pueden ser utilizadas, al mismo tiempo se restringen otras sustancias con potencial tóxico (Arvanitoyannis y Bosnea, 2004).

Sin embargo, los laboratorios proporcionan resultados utilizando técnicas de la migración de compuestos a manera global, y a pesar de aquello, se desconoce la composición específica de dichos migrantes (sustancias químicas) desde los empaques de polipropileno hacia los alimentos grasos. Por lo que, la presente investigación pretende identificar los principales factores y posibles compuestos migrantes desde los envases hacia los alimentos, en diferentes condiciones térmicas con alimentos grasos o simulantes equivalentes, lo cual constituye potencial información para investigaciones y delimitación de parámetros para implementar futuras regulaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de la investigación fue de tipo revisión bibliográfica, apoyados de fuentes primarias, secundarias y terciarias (Guirao et al., 2008), donde se abordaron temáticas como migración de compuestos de envases fabricados en polipropileno hacia alimentos grasos. Cortés (2020); Gómez et al. (2014) señalan que la revisión bibliográfica puede ser aplicada a cualquier tema de investigación, en las que se reúnen, analizan y discuten informaciones ya publicadas, cuya finalidad esencial es la de comunicar los resultados de investigaciones, ideas y debates de una manera clara y concisa (Cué et al., 2008).

Para la búsqueda de información se consideraron artículos científicos y libros publicados desde 1975 hasta 2021; cuya búsqueda se realizó a través de las bases de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Plásticos

Los plásticos son compuestos orgánicos, conocidos también como polímeros sintéticos, al tener su origen en el petróleo, son materiales formados por la unión de moléculas de hidrocarburos denominadas monómeros (Seymour y Carraher, 2021), que a su vez a través del proceso de polimerización reaccionan formando cadenas largas, unidas principalmente por enlaces covalentes (Crespo, 2013); (Chanda, 2021). Unas de las características principales de los plásticos se constituyen por la repetición continua de una determinada unidad estructural, lo cual hace que su fabricación sea relativamente sencilla y de bajo costo (Espinoza y Naranjo, 2014).

Las propiedades de los plásticos varían en relación al tipo de polímero que lo constituye, debido a que su naturaleza química interviene en ciertas particularidades (Molinari, 2016). Así, comparten de manera general las siguientes propiedades: plasticidad, conductividad eléctrica, conductividad térmica y resistencia mecánica (Villalta, 2018); (Agueda et al., 2015); (Beltrán y Marcilla, 2012).

Clasificación

Existe una gran variedad de materiales diseñados para satisfacer las múltiples necesidades (Arandes et al., 2004), los plásticos al ser polímeros de constitución variada se pueden clasificar con base a diferentes parámetros como el tipo de degradación que sufren, el mecanismo de polimerización, su estructura molecular, entre otros (Dulebová y Greškovi, 2011). Una de las clasificaciones más notables es el comportamiento que sufren los plásticos frente al calor (Majewski y Zawadzki, 2013). Conforme a esto, los plásticos se agrupan en tres categorías (Crespo, 2013).

Elastómeros

Los elastómeros termoplásticos a bajas temperaturas presentan conductas elásticas y en altas temperaturas tienen conductas termoplásticas (Bobadilla et al., 2022), son materiales con poca resistencia al calor y al ser expuestos a temperaturas medias sufren degradación, comúnmente se conoce el neopreno, la silicona, goma natural, entre otros (Arce y Suarez, 2017).

Termoestables

Exhiben estructura molecular reticulada, brindando gran rigidez, una vez terminado el proceso de moldeo cambian irreversiblemente (Gálvez, 2016), es decir, que no pueden ser reprocesados a su forma original debido a que no se ablandan al ser sometidos a una fuente de calor (Morocho, 2019), presentan buena resistencia química, son insolubles (Montero y Mejía, 2008); (Crespo, 2013).

Termoplásticos

Son polímeros con enlaces covalentes de estructura lineal con o sin ramificaciones (Kalpakjian y Schmid, 2002). Presentan solubilidad en determinados disolventes orgánicos porque no tienen entrecruzamientos (Elías y Jurado, 2012). Además, se puede fundir y solidificar aplicando calor de manera reversible y volver a su estado original una vez fríos (Cornejo et al., 2020). Con lo cual, las moléculas pueden moverse y modificar su estructura o apariencia; por tal motivo, son materiales idóneos para el reciclaje (Beltrán y Marcilla, 2011); (Plastics-The Facts, 2017). Cabe destacar que estos polímeros se codifican acorde a la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) del 1 al 7, detallados en el Cuadro 1.

CUADRO 1.
Clasificación de materiales según la Sociedad de la Industria de Plásticos

Material	Descripción	Abreviación	Designación para reciclaje
Poliéster termoplástico en el cual el grupo tereftalato es una de las unidades estructurales repetidas en la cadena polimérica	Poliéster termoplástico en el cual el grupo tereftalato es una de las unidades estructurales repetidas en la cadena polimérica	PET (PETE)	1
Plástico de cadena polimérica lineal	Plástico de cadena polimérica lineal		
Poliétileno de alta densidad	formada por etileno como el monómero predominante con densidad mayor 0.94 g/cm ³	PEAD (HDPE)	2
Plástico basado en polímeros de cloruro de vinilo o copolímeros de cloruro de vinilo, con otros monómeros, donde el cloruro de vinilo es la mayor parte de la masa	Plástico basado en polímeros de cloruro de vinilo o copolímeros de cloruro de vinilo, con otros monómeros, donde el cloruro de vinilo es la mayor parte de la masa	PVC (PVC)	3
Plástico de cadena polimérica lineal	Plástico de cadena polimérica lineal		
Poliétileno de baja densidad	formada por etileno como el monómero predominante con densidad mayor 0.91 g/cm ³	PEBD (LDPE)	4
Plástico basado en polímeros fabricados con propileno como monómero predominante	Plástico basado en polímeros fabricados con propileno como monómero predominante	PP (PP)	5
Plástico basado en polímeros fabricados con estireno o copolímeros de estirenos, donde el estireno es la mayor parte de la masa	Plástico basado en polímeros fabricados con estireno o copolímeros de estirenos, donde el estireno es la mayor parte de la masa	PS (PS)	6
Otros materiales sólidos en su estado final y no incluido en anteriores definiciones	Otros materiales sólidos en su estado final y no incluido en anteriores definiciones	Otros (Other)	7

NTE INEN 2634, (2012)

1 Entre paréntesis abreviación en inglés.

Los termoplásticos representan aproximadamente el 80% de la producción polimérica total (Vázquez et al., 2016), siendo el polietileno y el polipropileno los materiales de uso más frecuente y abundante debido a las propiedades que presentan y al costo menor asociado a su producción (Garrido, 2013). Además, aparecen en artículos de duración más larga como: artefactos, tuberías, accesorios, válvulas, partes automotrices y fibras. Por su versatilidad también se utilizan en embalajes rígidos y flexibles, piezas moldeadas, sillas, baldes y más (Morocho, 2019).

Polipropileno (PP)

La demanda mundial del PP se sitúa en 55 millones de toneladas al año (Karian, 2003), desplazando materiales tradicionales metálicos y cerámicos (Amigó et al., 2008); (Dorigato, 2021). Shubhra et al. (2013) mencionan que el PP pertenece al grupo de las poliolefinas, tiene apariencia parcialmente cristalina, se obtiene con la polimerización del propileno (o propeno), tiene buena resistencia a ataques de productos álcalis y/o ácidos (Pinajota, 2018). Desde otro punto de vista, Sanipatín (2019); Morocho (2019); Abreu et al. (2006) argumentan que el PP presentan debilidad durante el impacto, cuando se somete a bajas temperaturas, lo cual induce a la rotura por volverse quebradizo (Fasce, 2005), son inflamables, algunos se degradan por radiación ultravioleta. Por su estructura química este material presenta propiedades fisicoquímicas muy deseables (Curtzwiler et al., 2019), como las mencionadas en el cuadro 2.

Propiedades del polipropileno (PP)

Por estas propiedades hacen que el PP sea un polímero muy comercial comparado con otros polímeros de similares características; además, es de fácil procesamiento inicial y también en posconsumo haciéndolo ideal para múltiples aplicaciones en diferentes sectores de la industria (Velásquez et al., 2021). El PP se clasifica en homopolímeros y copolímeros, que generalmente son utilizados para fabricar envases que van a estar en contacto directo con alimentos, debido a que son químicamente inertes, termosellables y proporcionan una excelente barrera contra el agua (Hernández et al., 2001).

CUADRO 2.
Propiedades de PP

Tg °C	Tm °C	K W/m-K	Densidad kg/m ³	OTR cc/m ² d	WVTR g/m ² d	Fuerza de tensión MPa
-18	176	0.22	900	1550 a 2480	6	30 a 38

(Robertson, 2012); (Zhang et al., 2001)

Homopolímero PP (HPP)

Es obtenido de la polimerización propileno puro y conforme a su tacticidad se definen en 3 tipos: isotáctico, atáctico y sindiotáctico (Karian, 2003); de los cuales el grupo metilo lateral del propileno da a lugar a diversas configuraciones, los grupos laterales pueden quedar en desorden (atácticos), ordenados en la cadena principal sobre la misma dirección (isotácticos) o bien ordenados de forma regular alternadamente en sentidos opuestos (sindiotácticos) (Matos et al., 2005); (Gnauck y Fründt, 1991).

Copolímero

Tal como lo describe Fernández (2014), los copolímeros de PP (CPP) son dignos de mención con otras olefinas sobre todo con etilenos que incluyen una cantidad próxima al 25% durante su producción, cuando se aumenta el porcentaje de etileno dentro del CPP, disminuye la cristalinidad, la rigidez y fragilidad aumentando la flexibilidad, la resistencia al impacto y la elasticidad del plástico, estos se clasifican de la siguiente manera:

Copolímero aleatorio o random

Es una mezcla de dos cadenas moleculares diferentes; donde, el propileno y el etileno se preparan en un mismo reactor, obteniendo cadenas de polímero, en las que ambos monómeros se alternan de manera aleatoria (Redondo, 2018).

Adicional a esto, los copolímeros aleatorios proporcionan propiedades ópticas significativamente, tales como: una buena rigidez, una importante ductilidad, un aceptable límite elástico y una excelente resistencia química (Pastor, 2016); (Gahleitner et al., 2013).

Copolímero en bloques

Un copolímero que se forma cuando los dos monómeros se agrupan y crean grupos. Por lo tanto, en un reactor se lleva a cabo la polimerización del propileno y después, en un segundo reactor, se añade etileno, para ser polimerizado con el PP previamente obtenido (Botha y Van Reenen, 2013). Cabe añadir que también se los conoce como PP impacto o PP choque, debido a que la resistencia al impacto de estos copolímeros es muy alta (Passaretti, 2019).

Aplicaciones

El PP es uno de los polímeros más versátiles que existe, con una gran variedad de aplicaciones, cuyas propiedades varían a medida de la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los monómeros eventualmente incorporados (Dopico et al., 2007).

De igual manera, Sanipatín (2019) y Peña (2011) agregan que, debido a su excelente combinación de las propiedades como peso ligero y resistencia al impacto, el PP es un polímero ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados. Las áreas más populares y principales de usos son la industria alimentaria y producción de envases, seguido de la industria química y farmacéutica, entre otras cosas (Abreu et al., 2006).

Procesos de transformación de resinas PP en envases

Dentro del proceso de transformación de resinas plásticas, existen un sinnúmero de objetos que pueden ser fabricados como botellas, tapas, tarrinas, tubería, perfiles, entre otros, (Mora et al., 2015). Con presencia muy común en el medio industrial con el uso de técnicas como termoformado, inyección, extrusión y compresión (Caicedo et al., 2017), con mayor énfasis en la fabricación de piezas rígidas (Hoffman, 2003).

Moldeo por inyección

Wang et al. (2019) afirman que es el método más característico de la industria del plástico el cual consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas (presión, velocidad y temperatura), e introducirlo a presión en las cavidades de un molde donde se enfría a una temperatura apta para que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse (Shin y Selke, 2014). En este proceso es de gran importancia las características de los polímeros tales como la masa molecular y distribución, morfología, cristalinidad, estabilidad (García, 2014).

Moldeo por extrusión

Uno de los procesos de producción más comunes en la industria plástica en el cual generalmente utilizan termoplásticos y en ciertas ocasiones termoestables (Vélez y De La Hoz, 2016), también se utiliza para recubrimientos y producción de preformas (Sanipatín, 2019). Los pellets de resinas pasan por una tolva, alimentando el cilindro, que tiene incorporado un husillo para transportar el material previamente fundido hacia la boquilla que mediante la aplicación de presión y velocidad ingresa al molde y toma su forma (Espinoza, 2015).

Moldeo por termoformado

Proceso en el que se utiliza una lámina previamente precalentada la cual pasa por un molde que tiene la forma deseada (hembra-macho), en donde se aplica presión para obtener dicha figura del molde (Morales y Candal, 2006), a este proceso es muy común el uso de vacío para mejorar la confirmación de las figuras del molde, esta tecnología se utiliza para fabricar envases para diversos usos (Flores y Martínez, 2015).

Moldeo por compresión

Es un proceso productivo para piezas con requerimientos de volumen de producción elevado y tiempos de producción cortos (Todo en polimeros, 2017). Se coloca la resina fundida en una cavidad del molde (hembra), ingresa la segunda cavidad del molde (macho) presionan la resina hasta tomar la forma del molde (Tatara, 2017). Según Yam (2009) a menudo este tipo de proceso proporciona pobre consistencia del producto y dificultad para controlar la rebaba lo cual hace poco adecuado en determinados tipos de piezas.

Migración de compuestos de envases de PP hacia los alimentos

Los compuestos poliméricos que migran desde envases plásticos hacia los diferentes tipos de alimentos son determinados por fenómenos de transferencia de masa, basándose en primer lugar por las leyes de la difusión y la convección (Avendaño et al., 2017); (Ferrara et al., 2001). La difusión es el proceso mediante el cual la materia se transporta de un lugar a otro dentro del propio sistema y es el resultado de movimientos moleculares aleatorios que ocurren a pequeñas distancias. Adolf Fick, en 1855, fue el primero en intentar cuantificar el proceso de difusión (Manadas et al., 2002). El modelo de Fick se basa en flujos de difusión, donde se produce desde el compuesto bioactivo de una región con alta concentración a una baja concentración (Lopes, 2015).

Los coeficientes de difusión y partición son constantes. En polímeros como el polietileno (PE) y PP con bajas temperaturas de transición vítrea (T_g), se puede atribuir que, la migración de sustancias fabricadas a partir de estos materiales obedece a las leyes de Fick (Brandsch et al., 2020); (Begley et al., 2005). Por otro lado,

existen fenómenos de interacción de envases -alimento; alimento entorno que pueden influir en la migración hacia los alimentos los cuales son detallados a continuación:

Permeación

Consiste en la transferencia másica a través del material del envase, siendo así, que se puede dar desde su interior hacia su exterior o viceversa (Hotchkiss, 1988); Cabe enfatizar que este fenómeno se produce con gases, humedad y/o aromas. Riquet et al. (1998) señalan que la permeabilidad sería el paso del oxígeno o humedad del entorno al alimento, desencadenando reacciones de oxidación tales como enranciamiento de las grasas, pardeamiento enzimáticos o degradación de vitaminas.

Sorción

Se manifiesta con la transferencia de masa desde el alimento hacia los envases; ocasionando la pérdida de aditivos o sustancias que contiene un producto y que son esenciales para su conservación; es decir, cuando el empaque se expone a olores indeseables, o cuando el olor deseable propio del producto empacado se pierde por la permeación del empaque (Farhat et al., 2019); (Arvanitoyannis y Bosnea, 2004).

Migración

Este efecto ocurre posteriormente al proceso de envasado y/o almacenamiento, mediante la interacción producto-empaque transfiriendo compuestos desde la superficie del envase hacia el producto contenido en su interior (Muncke, 2021); (Navia et al., 2014).

Bhunia et al. (2013); Kontominas et al. (2006); Crank (1975) describen que el proceso de migración se puede dividir en 4 pasos principales:

El proceso de migración se puede dividir en 4 pasos principales:

- Difusión de compuestos químicos a través de los polímeros
 - Desorción de las moléculas difundidas de la superficie del polímero
 - Sorción de los compuestos en la interfaz plástico-alimento
 - Desorción de los compuestos en los alimentos

En términos correspondiente a migración empaque-producto existen factores importantes que pueden acelerar o mitigar la migración tales como la naturaleza de polímero, naturaleza de los enlaces cruzados, efecto de plastificantes, naturaleza del migrante, llenadores (la difusión y el transporte en los polímeros rellenos dependen de la naturaleza de la carga, el grado de adhesión y su compatibilidad con la matriz polimérica) (Vasile, 2018), sin menospreciar las temperaturas almacenamientos con su respectiva variación de coeficientes en difusividad, sortividad y permeabilidad (García y Pedlowski, 2014)

Por lo regular, la migración incrementa cuando existen sustancias de bajo peso molecular, como los aditivos y los oligómeros de las películas de envasado (Mousavi et al., 1998). De similar manera, un envase es expuesto a mayor temperatura y mayor tiempo, está también ligada a la concentración inicial del aditivo plástico y el tipo de polímero presentando una disminución de la velocidad cuando se incrementa la densidad del polímero lo cual también varía con el tratamiento térmico-mecánico dado a un mismo plástico durante la fabricación del envase (Dopico et al., 2007). Existen características de los materiales en contacto con los alimentos como el espesor, permeabilidad, etc., asimismo, en el migrante existen propiedades químicas como la presión de vapor, polaridad (Cruz et al., 2019).

Otro factor a considerar al vincular es el uso de envases, el consumo de alimentos y los datos de migración es la relación entre la superficie del envase y el volumen de producto alimenticio. La transferencia de masa de la sustancia química es un fenómeno de superficie y la concentración alcanzada en el alimento o estimulante alimentario depende de su volumen o masa (Úbeda et al., 2017). Por tanto, el tamaño y formato de los paquetes también son muy importantes (İçöz y Eker, 2016), el tipo de alimento también influye durante la determinación de la migración para lo cual la técnica más actual para obtener datos de migración es medir la concentración de migrantes directamente en los alimentos, o en simuladores de alimentos, después de estar en contacto con un material de empaque (Schmid y Welle, 2020).

La determinación de los compuestos que migran de los materiales de envasado a los alimentos en condiciones reales es difícil debido a la complejidad de las matrices alimentarias, especialmente cuando se utilizan alimentos grasos o aceites (Grob, 2008); (O'Brien y Cooper, 2001). Por esa razón, la simulación de las condiciones de migración se puede realizar utilizando simuladores de alimentos específicos (Sanches et al., 2007); (Stoffers et al., 2005).

El uso de simuladores de alimentos para probar la migración de compuestos químicos de los envases de alimentos incluye dos pasos. La primera es la exposición del envase de polímero al simulante (s) de alimentos, lo que luego permite que los compuestos del material de envasado migren al simulante (s). El segundo es cuantificar los migrantes transferidos a un simulante de alimentos en términos de migración general o migración específica (Bhunja et al., 2013); (EU, 2011). La transferencia también puede ocurrir por evaporación y luego filtrarse a los alimentos a través de la fase gaseosa (Bradley et al., 2013); (Johns et al., 2000). Además, los productos químicos como los componentes de la tinta y las fibras recicladas pueden persistir en los materiales de embalaje reciclados y, en última instancia, migrar a los alimentos (Samsonek y Puype, 2013); (Castle et al., 1997).

El tipo de material del envase determina en gran medida el potencial y el alcance de la migración de sustancias químicas hacia los alimentos (Carrizo et al., 2015). En el caso de materiales aparentemente inertes como el acero inoxidable, la cerámica o el vidrio, los productos químicos que recubren la superficie interior y que estén en contacto directo con los alimentos podrían provocar contaminación y la migración aún puede ocurrir desde los cierres o selladores que contienen plastificantes (Muncke, 2017). La migración química ocurre para moléculas e iones más pequeños por debajo de 1000 Dalton (Conchione et al., 2020). La migración depende de la composición química (por ejemplo, polaridad) y propiedades funcionales del material de envasado (por ejemplo, cristalinidad, permeabilidad) (Alamri et al., 2021).

El contenido de grasa es clave para determinar las tasas de migración, ya que muchos productos químicos de envasado son lipofílicos (lo que significa que tienen una mayor capacidad para disolverse en grasas) y, por lo consiguiente, pueden migrar más fácilmente a los alimentos grasos a tasas y niveles más altos (Desobry, 2000).

Claudio (2012) indica que la probabilidad de migración de cualquier componente potencialmente migratorio al alimento envasado depende de la composición del alimento, la mayoría de los electrolitos que migran dan como resultado la producción de contaminantes incluye elementos hidrofóbicos, que plantean serios desafíos en el envasado de alimentos ricos en grasas. Empleando las palabras de Hron et al. (2012) el mantenimiento de la calidad e inocuidad de los alimentos se considera fundamental durante el proceso de envasado, en el almacenamiento, durante el transporte, y en la ubicación minorista afecta la vida útil y la relación producto, concordando con Robertson (2012) donde concluye que las afectaciones en el envase también deterioran su calidad y aumentan la tasa de migración química a los alimentos, y conducir a una mayor migración química a través de cambios en el oxígeno ambiental, la humedad, la luz y la temperatura (Cirillo et al., 2013); (Nerin et al., 2013).

Migración global

El límite de migración global establece la cantidad máxima de sustancias que el material primario puede liberar hacia los alimentos (EU, 2011), como se aprecia en el cuadro 3. De acuerdo a varios autores como Campos (2017); Sendón et al. (2006); Alin y Hakkarainen (2010), coinciden que la migración global se refiere a la cantidad total de masa del empaque que es transferido al alimento; independientemente de que presenten características toxicológicas o sean sustancias inertes (Estacho, 2013).

CUADRO 3.
Límite de migración global

Referencia	Límite de Migración Total (LMT)
Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1186, (2013)	60 mg/kg 10 mg/dm ²
Unión Europea Reglamento No 10/2011, (2011)	60 mg/kg 10 mg/dm ²
Estados Unidos FDA 21 (Reglamento- Colombia Resolución 4143, (2012)	50 mg/kg 7,75 mg/dm ² 50 mg/kg 8 mg/dm ²
Reglamento técnico MERCOSUR GMC/RES N°15/10, (2010)	50 mg/kg 8 mg/dm ²

Existen varios niveles de las normas de seguridad practicadas a nivel de país (U.S. Food and Drug Administration) y a nivel regional (European Food Safety Autoridad). Algunos programas de certificación, como Global Food Iniciativa de seguridad, se han introducido, pero aún no se utilizan ampliamente. Las autoridades han emitido directivas legislativas sobre migración de productos químicos a los alimentos (Arvanitoyannis y Kotsanopoulos, 2013).

Simulantes para determinados tipos de alimentos

El Reglamento Unión Europea (2011) en su informe enfatiza que existen diferentes tipos de simulantes acordes a la interacción empaque-alimento y a sus características de los alimentos contenidos en envases, por ello se clasifica de la siguiente manera como se aprecia en el Cuadro 4.

CUADRO 4.
Lista de simulantes alimentarios // Reglamento (UE) No 10/2011

Simulante	Características del alimento
A: Etanol 10%(v/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas.
B: Ácido acético al 3% (p/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas. Para alimentos acuosos con un pH menor a 4,5.
C: Etanol al 20% (v/v)	Alimentos que tengan carácter hidrofílico y sean capaces de extraer sustancias hidrofílicas. Alimentos alcohólicos con un contenido de alcohol de hasta un 20 %, para alimentos que contengan una cantidad importante de ingredientes orgánicos que lo hagan ser más lipofílico.
D 1 : Etanol al 50% (v/v)	Alimentos que tengan carácter lipofílico y sean capaces de extraer sustancias lipofílicas. Alimentos alcohólicos con un grado alcohólico superior al 20 % y para aceite en emulsiones acuosas.
D2: Aceite Vegetal (*) (*) Puede tratarse de cualquier aceite vegetal con esta distribución de ácidos grasos	Alimentos que tengan carácter lipofílico y sean capaces de extraer sustancias lipofílicas. Alimentos que contengan grasas libres en la superficie.
E: Poli(óxido de 2,6-difenil-p-fenileno), tamaño de partícula 60-80 malla, tamaño de poro 200 nm	Se destina a ensayar la migración específica en alimentos secos.

Migración específica

Como relaciona Hurtado (2019) la migración específica es la cantidad de una sustancia concreta que es transferida al alimento con un interés particular ya sea por sus características toxicológicas, como en el caso de problemas de contaminación organoléptica, como ocurre con residuos de solventes compuestos de termodegradación (Sanches, 2004).

Origen de compuestos migrantes

Existen sustancias permitidas para ser incorporadas durante la fabricación de envases que van a estar en contacto con alimentos las cuales presentan inocuidad toxicológica, cumpliendo con los requisitos de las siguientes organizaciones:

- Reglamento (UE) No 10/2011
- FDA 21 CFR
- Mercosur GMC/RES. N° 15/10

Migración de componentes específicos

Los aditivos mejoran el rendimiento de los polímeros durante el procesamiento y la fabricación (Lago et al., 2019). Los plastificantes, antioxidantes, estabilizadores de luz, lubricantes, agentes antiestáticos, compuestos de deslizamiento y estabilizadores térmicos son los aditivos más utilizados en diferentes tipos de materiales de envasado poliméricos (Bradley et al., 2009). El límite de migración específico se aplica a sustancias individuales y generalmente se basa en la naturaleza toxicológica de la sustancia en cuestión (Bhunja et al., 2013); (EU 406/2011).

Principales aditivos en los polímeros

Estos son utilizados entre 0.05% hasta 20 % en peso, su costo es muy competitivo lo cual corresponde al crecimiento mundial de producción de plástico. Como se aprecia en el cuadro 5, los aditivos son clasificados por su función y no químicamente.

CUADRO 5.
Aditivos poliméricos

Aditivos	Usos
Estearato de Calcio	Desactivador de halógeno
Fenoles	Antioxidante primario
Impedidos	Pigmentación de piezas
Colorantes	Erukamida
Deslizante	Antioxidante secundario
Fosfitos	Estabilizante a la luz
HALS (aminas impedidas)	Sílica precipitada amorfa
Antibloqueo	

Los materiales y sus estructuras representativas se pueden encontrar en monografías o reseñas especializadas (Dopico et al., 2007). Existen algunas investigaciones como se menciona en el cuadro 6, donde se han identificado migraciones globales y específicas en las condiciones detalladas a continuación:

CUADRO 6.
Estudios de migración de sustancias químicas hacia envases de PP en diferentes condiciones

Material de embalaje	Migrantes / migración estudiada	Alimento / estimulante alimentario (%)	Condiciones de calentamiento			Resultados	Referencias
			Temp. (°C)	Energía (W)	Tiempo de contacto		
PP	Irganox 1076	Aceto de oliva	40°C	220	0.5 h	2.36 a 2.38 mg/dm ²	(Jicella et al., 1992)
PP	Irganox 1076	Isocetano	40°C	220	0.5 h	29.04 a 29.85 mg/dm ²	(Jicella et al., 1992)
PP	Migración global	Aceto de oliva	122-125°C	-	0.3 h	-0.5 a 1.0 mg/dm ²	(Rijk y Kraaij, 1993)
PP	Erucamada	Bianol 15%	40°C	-	10 días	Menor a 0.04 mg/kg	(Cooper y Troe, 1995)
PP	Erucamada	Ácido acético 15%	40°C	-	10 días	Menor a 0.04 mg/kg	(Cooper y Troe, 1995)
PP	Erucamada	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	1.9 +/- 0.2 mg/kg	(Cooper y Troe, 1995)
PP	Migración global	Bianol 15%	-	800	0.05 h	0.05 a 0.14 mg/dm ²	(Galoto y Guardia, 1999)
PP	Migración global	Aceto de Oliva	-	800	0.05 h	10.66 +/- 0.78 mg/dm ²	(Galoto y Guardia, 2004)
PP	Migración global	Isopropanol	-	800	0.05 h	0.19 +/- 0.07 mg/dm ²	(Galoto y Guardia, 2004)
PP	Migración global	Bianol 95%	-	800	0.05 h	1.55 +/- 0.12 mg/dm ²	(Galoto y Guardia, 2004)
PP	Migración global	N-heptano	-	800	0.05 h	0.07 +/- 0.02 mg/dm ²	(Galoto y Guardia, 2004)
PP-28um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-28 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	DFB	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	BHT	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	AO 425	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Agua destilada	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Agua destilada	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	DFB	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	BHT	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	AO 425	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Ácido acético 3%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	DFB	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	BHT	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	AO 425	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Bianol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Bianol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Bianol 10%	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Bianol 10%	40°C	-	10 días	Detectado, no cuantificado	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irganox 1010	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-28um	Irgafos 168	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	DFB	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	BHT	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	AO 425	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irganox 1010	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-24 um	Irgafos 168	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irganox 1010	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-48 um	Irgafos 168	Aceto de oliva	40°C	-	10 días	No detectable	(Dopico et al., 2007)
PP-C/PP-R	Irgafos 168	Isocetano	80°C	-	1 h	0.37-0.45 mg/dm ²	(Ailin y Hakkasainen, 2011)
PP-C/PP-R	Irganox 1010	Isocetano	80°C	-	1 h	Detectado, no cuantificado	(Ailin y Hakkasainen, 2011)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	1.32 +/- 0.37 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHT 1%+SA2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.32 +/- 0.39 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHA3%+SA2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.84 +/- 0.44 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BTH1%+BHA1%+AS2%	Migración global	Agua destilada	100°C	-	4 h	2.45 +/- 0.50 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	1.32 +/- 0.37 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHT 1%+SA2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	2.12 +/- 0.63 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHA3%+SA2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	3.66 +/- 0.56 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BTH1%+BHA1%+AS2%	Migración global	Ácido acético 3%	100°C	-	4 h	3.96 +/- 0.48 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP SIN ADITIVOS	Migración global	Bianol 95%	175°C	-	2 h	1.66 +/- 0.35 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHT 1%+SA2%	Migración global	Bianol 95%	175°C	-	2 h	6.07 +/- 0.40 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BHA3%+SA2%	Migración global	Bianol 95%	175°C	-	2 h	7.82 +/- 0.97 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)
PP BTH1%+BHA1%+AS2%	Migración global	Bianol 95%	175°C	-	2 h	6.64 +/- 0.56 mg/dm ²	(Fashina et al., 2020)

Nota Nombres de aditivos estudiados DBP (di-n-butylphthalate), BHA (butylated hydroxy anisole), AS(Ácido sórbico), BHT (butylated hydroxytoluene) AO 425 (2,2-methylenebis(4-ethyl-6-tert-butylphenol)

Las muestras evaluadas por Alin y Hakkarainen (2011) evidenciaron durante su estudio que el 83 % de las muestras presentó migración en mezcla de los siguientes compuestos (Irgafos 168, Irganox 1076, Irganox 1010) el 17% fueron de otros compuestos, con lo cual se identifica que existe mayor proporción de estos compuestos durante la migración.

Por otra parte, la literatura menciona utilización de varios aditivos para la producción de PP tales como; tinuvin 326, DTBP, DBS, ultranox 626, Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), ethanox 330, ethanox 398, ditertbutylphenol (DTF), cyanox 1790, weston 619, cyanox 1790. Sin embargo, estos compuestos no han sido identificados o cuantificado en estudios sobre migración global o específica.

CONCLUSIONES

Se evidencia que los compuestos químicos como el Irganox 1076, Irganox 1010, Irgafos 168 representan el 83% de la migración global generada desde los envases de polipropileno hacia los alimentos mediante pruebas de migración específicas.

Existen variables como la permeabilidad, espesor, polidispersabilidad, naturaleza de polímero, naturaleza del migrante, difusión, grado de adhesión que pueden influir en los efectos de la migración hacia los productos.

Se desconoce la influencia de las condiciones atmosféricas durante el proceso de migración y la relación que existente con los tipos de procesos de fabricación de envases.

El conocimiento de los posibles mecanismos de migración o interacción de la matriz polimérica del polipropileno, representa un punto importante en la comprensión de la actividad estabilizadora de los fosfitos y proporciona principios sintetizados para obtener mejor eficiencia durante el desarrollo de nuevas estructuras.

Se deben realizar más investigaciones sobre la migración con envases de diferentes tipos de procesos productivos y tomando en cuenta los migrantes que mayor frecuencia han tenido durante las investigaciones revisadas, sin menospreciar los otros compuestos que pueden afectar significativamente la salud de los consumidores.

LITERATURA CITADA

- Abreu, F., Forte, M., & Liberman, S. 2006. Propiedades Mecânicas e Morfologia de Blendas de Polipropileno com TPEs. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 16(1):71-78.
- Agueda, E., García, J., Gómez, T., Martín, J., & Gonzalo, J. 2015. Elementos metálicos y sintéticos (6.a edición). Ediciones Paraninfo, S.A.
- Alamri, M., Qasem, A., Mohamed, A., Hussain, S., Ibraheem, M., Shamlan, G., Alqah, H., & Qasha, A. 2021. Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8):4490-4499.
- Alin, J., & Hakkarainen, M. 2010. Type of polypropylene material significantly influences the migration of antioxidants from polymer packaging to food simulants during microwave heating. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(2):1084-1093.
- Alin, J., & Hakkarainen, M. 2011. Microwave Heating Causes Rapid Degradation of Antioxidants in Polypropylene Packaging, Leading to Greatly Increased Specific Migration to Food Simulants As Shown by ESI-MS and GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10):5418-5427. <https://doi.org/10.1021/jf1048639>.
- Amigó, V., Salvador, M., Sahuquillo, O., Llorens, R., & Martí, F. 2008. Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 1-8.

- Arandes, J., Bilbao, J., & López, D. 2004. Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1):28-45.
- Arce, J., & Suarez, S. 2017. Obtención y caracterización de combustible a partir de desechos Termoplásticos PEBD (Low Density Polyethylene) recolectados en la Universidad de Guayaquil [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18340>.
- Arvanitoyannis, I., & Bosnea, L. 2004. Migration of Substances from Food Packaging Materials to Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(2):63-76.
- Arvanitoyannis, I., & Kotsanopoulos, K. 2013. Migration Phenomenon in Food Packaging. *Food–Package Interactions, Mechanisms, Types of Migrants, Testing and Relative Legislation—A Review*. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1):21-36.
- Avendaño, E., Castillo, E., & Sinuco, D. 2017. Ensayo de migración global en empaques para alimentos: Evaluación de patrones internos alternativos. *Revista Colombiana de Química*, 47(1), 34-40.
- BCE (Banco Central del Ecuador). 2022. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/>
- Begley, T., Castle, L., Feigenbaum, A., Franz, R., Hinrichs, K., Lickly, T., Mercea, P., Milana, M., O'Brien, A., Rebre, S., Rijk, R., & Piringer, O. 2005. Evaluation of migration models that might be used in support of regulations for food-contact plastics. *Food Additives & Contaminants*, 22(1):73-90.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. 2011. Estructura y propiedades de los polímeros. *Tecnología de Polímeros*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/16883>.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. 2012. *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades* (1.a ed.). Universidad de Alicante.
- Bhunja, K., Sablani, S., Tang, J., & Rasco, B. 2013. Migration of Chemical Compounds from Packaging Polymers during Microwave, Conventional Heat Treatment, and Storage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5):523-545.
- Bobadilla, J., Tesen, F., Tigre, J., & Muñoz, S. 2022. Uso de polímeros en asfalto: Una revisión. *Gaceta Técnica*, 23(1), 94-109. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>
- Botha, L., & Van Reenen, A. 2013. The effect of in-process ethylene incorporation on the evolution of particle morphology and molecular characteristics of commercial heterophasic ethylene propylene copolymers (HEPCs). *European Polymer Journal*, 49(8):2202-2213.
- Bradley, E., Castle, L., Jickells, S., Mountfort, K., & Read, W. 2009. Use of overall migration methodology to test for food-contact substances with specific migration limits. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 26(4):574-582.
- Bradley, E., Stratton, J., Leak, J., Lister, L., & Castle, L. 2013. Printing ink compounds in foods: UK survey results. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 6(2):73-83.
- Brandsch, J., Mercea, P., & Piringer, O. 2020. Modeling of Additive Diffusion Coefficients in Polyolefins. *ACS Symposium Series*, 753(4):27-36.
- Caicedo, C., Crespo, L., Cruz, H., & Álvarez, N. 2017. Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(3):245-252.
- Campos, C. 2017. Estudio de migración de distintos componentes de materiales plásticos a los alimentos [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2590>.
- Carrizo, D., Maccagnan, A., Félix, J., Nerín, C., & Bosetti, O. 2015. The Barrier Effect of EVOH versus 1,4,7-Trioxocyclotridecane-8,13-Dione, a Non-intentionally Added Compound from Polyurethane Adhesives in Multilayer Food Packaging. *Packaging Technology and Science*, 28(12):1039-1046. <https://doi.org/10.1002/pts.2182>.
- Castle, L., Offen, C., Baxter, M., & Gilbert, J. 1997. Migration studies from paper and board food packaging materials. 1. Compositional analysis. *Food Additives & Contaminants*, 14(1):35-44.
- Chanda, M. 2021. Chemical aspects of polymer recycling. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(3):133-150.

- Chea, V., Angellier-Coussy, H., Peyron, S., Kemmer, D., & Gontard, N. 2015. Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) films for food packaging: Physical–chemical and structural stability under food contact conditions. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2).
- Çinibulak, P. 2010. Gıda ambalajlarında migrasyon [Tesis maestría, Namık Kemal University]. <http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.11776/406>.
- Cirillo, T., Fasano, E., Esposito, F., Prete, E., & Cocchieri, R. 2013. Study on the influence of temperature, storage time and packaging type on di-n-butylphthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate release into packed meals. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(2):403-411.
- Claudio, L. 2012. Our Food: Packaging & Public Health. *Environmental Health Perspectives*, 120(6):232-237. <http://doi.org/10.1289/ehp.120-a232>
- Conchione, C., Lucci, P., & Moret, S. 2020. Migration of Polypropylene Oligomers into Ready-to-Eat Vegetable Soups. *Foods*, 9(10):1-12. <https://doi.org/10.3390/foods9101365>.
- Cooper, I., & Tice, P. 1995. Migration studies on fatty acid amide slip additives from plastics into food simulants. *Food Additives and Contaminants*, 12(2):235-244.
- Cornejo, G., Marinero, E., Funes, C., & Toruño, P. 2020. Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termoplástico biodegradable. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(11):1359-1382.
- Cortés, J. 2020. Una revisión general de los Artículos de Revisión. *Revista Scientia et Technica*, 25(1):1-3.
- Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion* (2.a ed.). Clarendon Press.
- Crespo, S. 2013. Evaluación de la pirólisis térmica de residuos de polietileno proveniente de la producción de banano en un reactor Batch [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6661>.
- Cruz, R., Rico, B., & Vieira, M. 2019. Food packaging and migration. En *Food Quality and Shelf Life* (pp. 281-301). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00009-4>.
- Cué, M., Díaz, G., Díaz, A., & Valdés, M. 2008. El artículo de revisión. *Rev Cubana Salud Pública*, 34(4).
- Curtzwiler, G., Schweitzer, M., Li, Y., Jiang, S., & Vorst, K. 2019. Mixed post-consumer recycled polyolefins as a property tuning material for virgin polypropylene. *Journal of Cleaner Production*, 239:117978.
- Dangaran, K., & Krochta, J. 2007. Preventing the loss of tensile, barrier and appearance properties caused by plasticiser crystallisation in whey protein films. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(9):1094-1100.
- Desobry, S. 2000. Packaging/fatty food interactions. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 7(5):427-430.
- Dopico, M., López, J., & González, M. 2007. Antioxidant Content of and Migration from Commercial Polyethylene, Polypropylene, and Polyvinyl Chloride Packages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8):3225-3231.
- Dorigato, A. 2021. Recycling of polymer blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(2):53-69.
- Dulebová, L., & Greškovi, F. 2011. Influence of regrind on properties of plastics produced by injection moulding. *Materials Engineering*, 18: 44-48.
- Elías, X., & Jurado, L. 2012. Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. En *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Espinoza, J., & Naranjo, T. 2014. Estudio de viabilidad técnica preliminar para la obtención de combustibles mediante la pirólisis de residuos plásticos generados en la Universidad Politécnica Salesiana [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7014>.
- Espinoza, P. 2015. Incidencia de un sistema de gestión de controles en la elaboración de galoneras en el proceso de la producción de la Empresa Agricominsa. [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13569>
- Estacho, P. 2013. Estudio de adhesivos en envase alimentario: Desarrollo de métodos de análisis, difusión y migración de sus componentes a los alimentos envasados [Tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza.

- EU (Commission Implementing Regulation). 2011. No 406/2011 of 27 April 2011 amending Regulation (EC) No 2380/2001 as regards the composition of the feed additive maduramicin ammonium alpha, Pub. L. No. 406/2011, 11.
- Fakirov, S. 2021. Editorial for Polymer Recycling. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(2):50-51.
- Farhat, J., Saab, J., Stephan, J., Kashanna, A., Goutaudier, C., & Mokbel, I. 2019. Physicochemical Properties of Chemical Pollutants Available in Food Contact Materials (FCM). *MATEC Web of Conferences*, 281, 06001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928106001>
- Fasce, L. 2005. Comportamiento mecánico de polipropileno modificado con una poliolefina elastomérica. *Revista SAM*, 1-10.
- Fasihnia, S., Peighambardoust, S., Peighambardoust, S., Oromiehie, A., Soltanzadeh, M., Pateiro, M., & Lorenzo, J. 2020. Properties and Application of Multifunctional Composite Polypropylene-Based Films Incorporating a Combination of BHT, BHA and Sorbic Acid in Extending Donut Shelf-Life. *Molecules*, 25(21):5197.
- Feigenbaum, A., Hamdani, M., Ducruet, V., & Riquet, A. 1995. Classification of interactions: Volatile simulants, global and specific migration. *Journal of Polymer Engineering*, 15(1-2):47-56.
- Fernández, A. 2014. Análisis de la estructura, movilidad molecular y propiedades de copolímeros de impacto de polipropileno. Modelo de estructura de fases [Tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. <https://ciencia.urjc.es/handle/10115/12236>.
- Ferrara, G., Bertoldo, M., Scoponi, M., & Ciardelli, F. 2001. Diffusion coefficient and activation energy of Irganox 1010 in poly(propylene-co-ethylene) copolymers. *Polymer Degradation and Stability*, 73(3):411-416.
- Flores, A., & Martínez, D. 2015. Diseño, simulación y construcción de una matriz para inyección de cubiertos de polipropileno [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10288>
- Fouad, M., El Sayed, A., & Mahdy, A. 1999. Migration of DINP and DOP plasticisers from PVC sheets into food. *Environmental Management and Health*, 10(5):297-302.
- Gahleitner, M., Tranninger, C., & Doshev, P. 2013. Heterophasic copolymers of polypropylene: Development, design principles, and future challenges. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(5):3028-3037.
- Galotto, M., & Guarda, A. 1999. Comparison between thermal and microwave treatment on the overall migration of plastic materials intended to be in contact with foods. *Packaging Technology and Science*, 12:277-281.
- Galotto, M., & Guarda, A. 2004. Suitability of alternative fatty food simulants to study the effect of thermal and microwave heating on overall migration of plastic packaging. *Packaging Technology and Science*, 17(4):219-223.
- Gálvez, A. 2016. Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (*Zea mays*) [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- García, J. 2014. Desarrollo de formulaciones de colores líquidos para el uso en polietileno de alta, baja densidad y polipropileno en una empresa de plásticos [Tesis pregrado]. Universidad Autónoma del Estado De México.
- García, M., & Pedlowski, L. 2014. Evaluación del conocimiento del consumidor acerca de los riesgos asociados al uso de recipientes plásticos durante el calentamiento de alimentos [Tesis pregrado, Universidad Argentina de la Empresa]. <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/2458>.
- Garde, J., Catalá, R., Gavara, R., & Hernandez, R. 2001. Characterizing the migration of antioxidants from polypropylene into fatty food simulants. *Food Additives & Contaminants*, 18(8):750-762.
- Garrido, P. 2013. Diseño e implementación de un reactor continuo para la degradación química de polímeros [Tesis pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116265>
- Gnauck, B., & Fründt, P. 1991. *Iniciación a la química de los plásticos* (3.a ed.). Hanser.
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., & Betancourt, L. 2014. Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184):158-163.
- Grob, K. 2008. The future of simulants in compliance testing regarding the migration from food contact materials into food. *Food Control*, 19(3):263-268.

- Guirao, J., Olmedo, A., & Ferrer, E. 2008. El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(1):1-25.
- Helmroth, E., Rijk, R., Dekker, M., & Jongen, W. 2002. Predictive modelling of migration from packaging materials into food products for regulatory purposes. *Trends in Food Science & Technology*, 13(3):102-109.
- Hernández, P., Catalá, R., & Gavara, R. 2001. Food aroma partition between packaging materials and fatty food simulants. *Food Additives & Contaminants*, 18(7):673-682.
- Hoffman, D. 2003. *Handbook of ecotoxicology* (2.a ed.). Lewis Publishers.
- Hotchkiss, J. 1988. An Overview of Food and Food Packaging Interactions. En *Food and Packaging Interactions* (Vol. 365, pp. 1-10). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-1988-0365.ch001>
- Hron, J., Macák, T., & Jindrová, A. 2012. Evaluation of economic efficiency of process improvement in food packaging. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60(4):115-120.
- Hurtado, G. 2019. Determinación de la migración específica del plomo en simulante a por contacto prolongado con dos envases celulósicos para alimentos [Tesis pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- İçöz, A., & Eker, B. 2016. Selection of food packaging material, migration and its effects on food quality. 201-210.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2013. NTE INEN 1186. Materiales y artículos en contacto con productos alimenticios. Plásticos. Parte 1: Guía para la elección de condiciones y métodos de ensayo para la migración global.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2012. NTE INEN 2634. Disposición de desechos plásticos post-consumo. Requisitos. https://drive.google.com/file/d/1fa73hd_8YZzmUhURI5RASn8Zl0qmWwTH/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook
- Jickells, S., Gramshaw, J., Castle, L., & Gilbert, J. 1992. The effect of microwave energy on specific migration from food contact plastics. *Food Additives and Contaminants*, 9(1):19-27.
- Johns, S., Jickells, S., Read, W., & Castle, L. 2000. Studies on functional barriers to migration. 3. Migration of benzophenone and model ink components from cartonboard to food during frozen storage and microwave heating. *Packaging Technology and Science*, 13(3):99-104.
- Kalpajian, S., & Schmid, S. 2002. *Manufactura, ingeniería y tecnología* (4.a ed.). Pearson Educación.
- Karian, H. Ed. 2003. *Handbook of polypropylene and polypropylene composites* (2.a ed.). Marcel Dekker.
- Kontominas, M., Goulas, A., Badeka, A., & Nerantzaki, A. 2006. Migration and sensory properties of plastics-based nets used as food-contacting materials under ambient and high temperature heating conditions. *Food Additives & Contaminants*, 23(6):634-641.
- Lago, M., Sendón, R., Bustos, J., Nieto, M., Paseiro, P., & Rodríguez, A. 2019. Migration Studies of Two Common Components of UV-curing Inks into Food Simulants. *Molecules*, 24(19):3607.
- Lau, O. y Wong, S. 2000. Contamination in food from packaging material. *Journal of Chromatography A*, 882(1), 255-270.
- Lopes, D. 2015. Microencapsulação de própolis em matrizes de polissacáridos e estudos de liberação controlada [Master Thesis, Universidade de Lisboa]. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/8524>
- Majewski, T., & Zawadzki, A. 2013. Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz. *Ideas en Ciencias*, 23-33.
- Manadas, R., Pina, M., & Veiga, F. 2002. A dissolução in vitro na previsão da absorção oral de fármacos em formas farmacêuticas de liberação modificada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(4).
- Matos, M., Sánchez, J., Jiménez, M., Salas, L., Santana, O., Gordillo, A., Maspocho, M., & Müller, A. 2005. Propiedades Mecánicas y Comportamiento a Fractura de un Polipropileno Homopolímero comparado con un Copolímero de impacto grado comercial. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 25(1-2):31-45.
- Molinari, E. 2016. Relación entre propiedades tribológicas y estructura de polietilenos [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/xmlui/handle/123456789/3434>
- Montero, C., & Mejía, F. 2008. El descubrimiento de los plásticos: De solución a problema ambiental. *Letras ConCiencia Tecnológica*, 80-96.

- Mora, J., Esquivel, M., Durán, M., & Zamora, R. 2015. Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (*Musa AAA*). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 16(2):91-111.
- Morales, R., & Candal, M. 2006. Diseño y fabricación de un molde de termoformado utilizando herramientas CAD/CAE. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 21(1):83-99.
- Morocho, S. 2019. Obtención de combustible mediante pirólisis térmica a partir de polipropileno reciclado. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13804>
- Mousavi, S., Desobry, S., & Hardy, J. 1998. Mathematical modelling of migration of volatile compounds into packaged food via package free space. Part II: Spherical shaped food. *Journal of Food Engineering*, 36(4):473-484.
- Muncke, J. 2021. Tackling the toxics in plastics packaging. *PLOS Biology*, 19(3):1-11.
- Muncke, J. 2017. Food contact materials: Chemical risk assessment and practical challenges. 27.
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. 2014. Interacciones empaque-alimento: Migración. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25):99-113.
- Nerin, C., Alfaro, P., Aznar, M., & Domeño, C. 2013. The challenge of identifying non-intentionally added substances from food packaging materials: A review. *Analytica Chimica Acta*, 775:14-24.
- O'Brien, A., & Cooper, I. 2001. Polymer additive migration to foods-a direct comparison of experimental data and values calculated from migration models for polypropylene. *Food Additives & Contaminants*, 18(4):343-355.
- Passaretti, M. 2019. Desarrollo de films delgados a partir de copolímeros bloque con morfología controlada [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81497>
- Pastor, M. 2016. Polimerización secuencial de Copolímeros de Propileno en un solo reactor. Regulación de la morfología y propiedades mecánicas [Tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. <https://ciencia.urjc.es/handle/10115/14181>
- Peña, J. 2011. Producción de polipropileno mediante Combinación de catalizadores Metalocénicos [Tesis pregrado, Universidad Rey Juan Carlos]. <https://ciencia.urjc.es/handle/10115/11785>
- Pinajota, O. 2018. Desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10427>
- Plastics – the Facts. 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data /2017 (p. 44). *PlasticsEurope*.
- Plastics – the Facts. 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data/2019 (p. 42). *Plastics Shape the Future*.
- Redondo, F. 2018. Síntesis y caracterización de copolímeros bloque biocompatibles [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/xmlui/handle/123456789/4168>
- Reglamento de Comisión Europea No 10. 2004. No 1935/2004 Del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE, Pub. L. No. No 1935/2004, 4.
- Reglamento Unión Europea No 10. 2011. Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, Pub. L. No. No 10/2011, 1.
- Reglamento técnico MERCOSUR. 2010. Sobre colorantes en envases y equipamientos plásticos destinados a estar en contacto con alimentos (derogación de la Res. GMC No 28/93), Pub. L. No. GMC/RES. No 15/10, 1.
- Reglamento técnico 4143-2012. 2012. Sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio Nacional, Pub. L. No. 4143-2012, 1.
- Rijk, R., & Kruijff, N. 1993. Migration testing with olive oil in a microwave oven. *Food Additives & Contaminants*, 10(6):631-645.

- Riquet, A., Wolff, N., Laoubi, S., Vergnaud, J., & Feigenbaum, A. 1998. Food and packaging interactions: Determination of the kinetic parameters of olive oil diffusion in polypropylene using concentration profiles. *Food Additives & Contaminants*, 15(6):690-700.
- Robertson, G. 2012. *Food Packaging: Principles and Practice*, Third Edition (3.a ed.). CRC Press Taylor and Francis Group.
- Samsonok, J., & Puype, F. 2013. Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(11):1976-1986.
- Sanches, A. 2004. *Desarrollo de Métodos Analíticos para el Estudio en Alimentos de Fenómenos de Oxidación Lipídica y Migración provenientes del Material de Envase* [Tesis doctoral]. Universidad Santiago de Compostela.
- Sanches, A., Cruz, J., Sendón, R., Franz, R., & Paseiro, P. 2007. Kinetic migration studies from packaging films into meat products. *Meat Science*, 77(2):238-245.
- Sanipatín, S. 2019. *Estudio Comparativo de las propiedades mecánicas de residuos de polipropileno obtenido por extrusión y reforzado con fibras de Abacá y de Plátano*. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13265>
- Schmid, P., & Welle, F. 2020. Chemical Migration from Beverage Packaging Materials—A Review. *Beverages*, 6(2):1-19.
- Sendón, R., Sanches, A., Cooper, I., Franz, R., & Paseiro, P. 2006. Revision of analytical strategies to evaluate different migrants from food packaging materials. *Trends in Food Science & Technology*, 17(7):354-366.
- Seymour, R., & Carraher, C. 2021. *Introducción a la química de los polímeros* (1.a ed.). Reverte.
- Shin, J., & Selke, S. 2014. Food Packaging. En S. Clark, S. Jung, & B. Lamsal (Eds.), *Food Processing* (2.a ed., pp. 249-273). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch11>
- Shubhra, Q., Alam, A., & Quaiyyum, M. 2013. Propiedades mecánicas de los compuestos de polipropileno: Una revisión. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(3):362-391.
- Simoneau, C. 2008. Chapter 21 Food Contact Materials. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 51, 733:773.
- Stoffers, N., Dekker, M., Linssen, J., Störmer, A., Franz, R., & Boekel, M. 2005. Modelling of simultaneous two-sided migration into water and olive oil from nylon food packaging. *European Food Research and Technology*, 220(2):156-162.
- Tatara, R. 2017. 14—Compression Molding. En M. Kutz (Ed.), *Applied Plastics Engineering Handbook* (Second Edition) (pp. 291-320). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00014-6>
- Todo en polimeros. 2017. Moldeo por compresion. <https://todoenpolimeros.com/2017/03/03/moldeo-por-compresion-2/>
- Úbeda, S., Aznar, M., Vera, P., Nerín, C., Henríquez, L., Taborda, L., & Restrepo, C. 2017. Overall and specific migration from multilayer high barrier food contact materials – kinetic study of cyclic polyester oligomers migration. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(10):1784-1794.
- Vasile, C. 2018. Polymeric Nanocomposites and Nanocoatings for Food Packaging: A Review. *Materials*, 11(10):1834.
- Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M., & Velasco, M. 2016. El reciclaje de los plásticos. *Anipac*, 17.
- Velásquez, E., Espinoza, S., Valenzuela, X., Garrido, L., Galotto, M., Guarda, A., & López, C. 2021. Effect of Organic Modifier Types on the Physical–Mechanical Properties and Overall Migration of Post-Consumer Polypropylene/Clay Nanocomposites for Food Packaging. *Polymers*, 13(9):1502.
- Vélez, J., & De La Hoz, E. 2016. Modelo lineal para estimar el índice de degradación a la procesabilidad del polipropileno reciclado debida a la adición de estabilizante. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(1):85-93.
- Villalta, A. 2018. *Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes formulaciones de un bioplástico sintetizado, a partir del almidón obtenido de la cáscara de mango (Mangifera indica L.) a escala laboratorio* [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Vitrac, O., & Hayert, M. 2005. Risk assessment of migration from packaging materials into foodstuffs. *AIChE Journal*, 51(4):1080-1095.

- VomBruck, C., Figge, K., & Rudolph, F. 1981. Interaction of fat- containing food with plastics packaging. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(8):811-815.
- Wang, X., Yuan, H., Pan, Y., Liu, C., Shen, C., & Liu, X. 2019. Creep behavior and mechanical properties of isotactic polypropylene composites via twice melt injection molding. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2(3), 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.06.001>
- Yam, K. 2009. *The Wiley encyclopedia of packaging technology* (3rd ed). John Wiley & Sons.
- Zhang, Z., Britt, I., & Tung, M. 2001. Permeation of oxygen and water vapor through EVOH films as influenced by relative humidity. *Journal of Applied Polymer Science*, 82(8), 1866-1872. <https://doi.org/10.1002/app.2030>