

DESARROLLO DE EMPAQUES POLIMÉRICOS APROPIADOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE GULUPA EN FRESCO (*Passiflora edulis* Sims)

César A. Sierra A¹, Luis Alejandro Gutiérrez Carranza¹, Sugey M. Martínez¹

Colombia es un país cuya economía se basa principalmente en actividades agrícolas, y por tanto necesita de nuevos desarrollos que le permitan garantizar la calidad poscosecha de sus productos y la conservación de excelentes estándares organolépticos de los productos hortofrutícolas por un mayor tiempo, permitiendo acceder más fácilmente a mercados internacionales. El sector de empaques para alimentos es importante dentro de las técnicas direccionadas al mantenimiento y aseguramiento de la calidad alimenticia, puesto que el empaque se encuentra directamente relacionado con dos funciones básicas que son: el proceso de conservación y el proceso de protección de los alimentos. En este capítulo describiremos el desarrollo de un novedoso empaque con propiedades anti-empañante y anti-maduración apropiado para el manejo poscosecha de la gulupa. Los principios básicos descritos en este desarrollo pueden ser fácilmente extrapolados y aplicados hacia empaques para otros productos frescos hortofrutícolas.

Para conservar alimentos frescos por un determinado período de tiempo se cuenta con diferentes técnicas, como lo son el uso de bajas temperaturas, los procesos de deshidratación, la irradiación, los preservantes y los empaques, entre otros; siendo muy común la combinación de técnicas para lograr mejores resultados. Entendiéndose conservación como la extensión de la vida útil del alimento, siendo este el período de tiempo en el cual el alimento se mantiene seguro, conserva óptimas propiedades sensoriales y mantiene buenas propiedades químicas, físicas y microbiológicas (Ray, 2005).

¹ Laboratorio de polímeros, Departamento de química, Universidad Nacional de Colombia.
Correspondencia: casieraa@unal.edu.co

Dentro de las técnicas de conservación mencionadas, los empaques han adquirido una importancia especial, debido a que las demás técnicas generalmente necesitan de los empaques para mantener su funcionamiento. Adicionalmente, los empaques sirven de barrera protectora ante condiciones ambientales como luz, oxígeno, humedad, microorganismos, daños mecánicos y contaminantes (Ahvenainen, 2003).

Empaques inteligentes y activos

Los empaques para alimentos se dividen en dos grandes grupos dependiendo de la función para la que se desarrollen, clasificándose de esta manera en empaques inteligentes y empaques activos. Los empaques inteligentes son aquellos cuya función es informar sobre la calidad del alimento que está almacenando, o indicar las condiciones de almacenamiento. Para tal fin, los empaques inteligentes utilizan sensores o indicadores los cuales son colocados dentro o fuera del empaque. Ejemplos muy generales de estos indicadores son: sensores de tiempo y de temperatura, de niveles de oxígeno, de dióxido de carbono y de crecimiento microbiano (Ahvenainen, 2003).

Los empaques activos están directamente relacionados con el proceso de conservación. La definición de activo incluye varios aspectos para lograr extender la vida útil del alimento, estos pueden ser la modificación de procesos fisiológicos como es el caso de la respiración en frutas y vegetales, procesos químicos como la oxidación de lípidos, procesos físicos como la deshidratación, e incluso microbiológicos y de infestación. Para cumplir con el proceso de conservación, generalmente los empaques activos contienen aditivos que desempeñan funciones específicas dentro del empaque con el objeto de modificar los procesos ya enunciados. Estos aditivos pueden generar sistemas adsorbentes o absorbentes para remover compuestos indeseables en la atmósfera del alimento, como podría ser el caso del oxígeno, etileno y agua. También es posible generar en el empaque sistemas de liberación controlada de compuestos que se requieren en la atmósfera o en las cercanías del alimento, como podría ser el caso de dióxido de carbono, antioxidantes, antimicrobianos, anti-empaños y anti-maduración (Ahvenainen, 2003).

Además de los aditivos en el empaque, otro factor que influye en la conservación de los alimentos es la atmósfera en la cual estos son almacenados. La atmósfera en el interior del empaque puede ser alterada constantemente durante el almacenamiento, debido a reacciones entre los componentes de esta y el alimento y por la transmisión de gases a través de la película del empaque. A este tipo de empaques se les conoce con el nombre de empaques con atmós-

fera modificada (MAP = Modified Atmosphere Packs), y se diferencia de los empaques con atmósfera controlada (CAP = Controlled Atmosphere Packs), debido a que estos últimos hacen referencia a una atmósfera poco variante y controlada en todo momento.

Tanto la atmósfera modificada como la controlada utilizan N_2 , O_2 y CO_2 como gases de composición. Cuando los niveles de O_2 en el interior del empaque se reducen y los del CO_2 se incrementan, es posible por ejemplo, lograr que la maduración de frutas y vegetales frescos pueda ser retrasada, ya que la velocidad de producción de etileno se reduce y el ablandamiento propio de la maduración es retrasado (Yahia, 2009).

Plásticos como empaques para alimentos

Los plásticos son ampliamente usados como materiales para empaque debido a sus extraordinarias propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Generalmente, son químicamente inertes y bajo determinadas condiciones son moldeables en diferentes formas y estructuras. Además de ser livianos, los plásticos se fabrican a relativo bajo costo, proporcionan transparencia, resistencia y excelentes propiedades de barrera (Ray, 2005). Diferentes plásticos son utilizados en empaques para alimentos, siendo los más utilizados polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polivinilacetato (PVA) y poliamidas (PA) como es el caso del Nylon 6. Dentro de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los plásticos para alimentos, cabe resaltar el valor de permeabilidad a los gases, valor que depende de la naturaleza química del polímero, espesor de la película, porosidad, entre otros. La permeabilidad es determinante en procesos como el de empaques MAP. Algunos valores de permeabilidad a gases se han referenciado por Sandhya (2010).

Empaques anti-empañantes y efecto sinérgico anti-maduración

Un factor de suma importancia concerniente a la calidad y al aspecto visual es la condensación de agua en el interior de los empaques, esta particularidad es bastante encontrada en empaques para alimentos frescos y poco procesados, especialmente de frutas y verduras quienes producen agua en forma continua. La literatura se refiere al anterior fenómeno con el término de "fogging" o empañamiento, el cual se define como la condensación de vapor de agua en forma de gotas sobre una superficie plástica, presentándose esto cuando el vapor de agua presente al interior del empaque se encuentra a una temperatura por debajo de la temperatura de rocío, fenómeno dependiente tanto de la temperatura como de la humedad relativa (Zweifel 2000; Piringer 2008; Co-

les 2003; Wagner 2001). El rechazo hacia el empañamiento se produce por dos razones principales: i) La creación de una barrera física que distorsiona o evita la fácil observación del contenido del empaque, que provoca en el consumidor una calificación errada del aspecto sensorial externo del producto, ii) La disminución de la calidad del producto debido a que puede propiciar el crecimiento de microorganismos.

Una solución alternativa al uso de agentes anti-empañantes es el uso de aditivos capaces de extraer el agua. Sin embargo, la pérdida excesiva de humedad dentro del empaque puede provocar fenómenos de deshidratación que aumentan la pérdida de peso del alimento, afectan la sensación de frescura y ocasionan grandes pérdidas económicas. De esta manera, el uso de agentes desecantes en procesos poscosecha de transporte y almacenamiento debe manejarse en forma cuidadosa para evitar efectos colaterales indeseables.

El empañamiento es un fenómeno superficial que se presenta fuertemente en los materiales plásticos poliolefinicos debido a sus propiedades hidrofóbicas, lo cual hace que al contacto con vapor de agua se formen gotas sobre la superficie polimérica dadas las diferencias de tensión superficial existente entre el polímero y el agua. Considerando superficies heterogéneas líquido-sólido, el mojado se puede definir como la tendencia de un líquido a extenderse sobre un sólido y generalmente es indicado por el ángulo de contacto (θ) formado en la interfase sólido-líquido (Figura 2.1). Si se presenta $\theta = 0$, a este estado se le denomina mojado completo, mientras que si $\theta = 180$ se considera como no mojado.

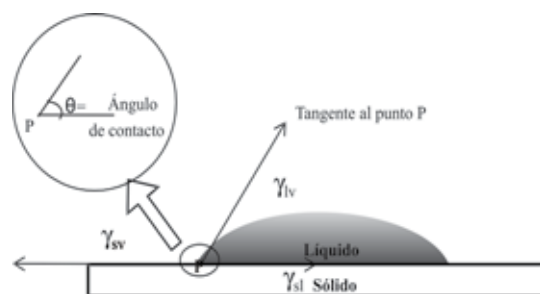


Figura 2.1. Ángulo de contacto (θ) formado en una interfase sólido - líquido.

Considerando todo lo anterior, existen dos caminos probables para evitar el empañamiento que consisten en: a) Lograr por medio de aditivos en el polímero ángulos de contacto cercanos a 180° ; para ello se necesitaría que los aditivos hagan que la gota formada no pudiese permanecer adherida a la película polimérica. b) De manera similar por medio de aditivos en el polímero obtener ángulos de contacto cercanos a 0° , causando que el agua condensada se extienda en forma de película continua invisible y delgada sobre el polímero.

Otro proceso importante en el campo de la conservación de alimentos frescos

es el control de la maduración. El cual puede ser expresado, entre muchas otras formas, por el ablandamiento externo del producto fresco. Este proceso involucra la degradación de la celulosa, de la pectina e incluso del almidón (Paliyath *et al.*, 2008). Todo este proceso de maduración está regulado por fitohormonas naturales, como el etileno el cual afecta la maduración y envejecimiento de plantas, vegetales y frutas. De manera que la selección adecuada de un aditivo anti-empañante puede producir una sinergia tal que actúe también como agente anti-maduración al controlar la pérdida excesiva de agua o interactuar con el etileno y evitar su acción.

Aditivos anti-empañantes

Cuatro aditivos anti-empañantes (Figura 2.2) fueron seleccionados, algunos comerciales y otros sintetizados (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011), para incorporar en la matriz polimérica de polietileno de baja densidad (LDPE), teniendo en cuenta criterios de toxicidad, disponibilidad y naturaleza química (Zweifel 2000; Piringer 2008; Coles 2003).

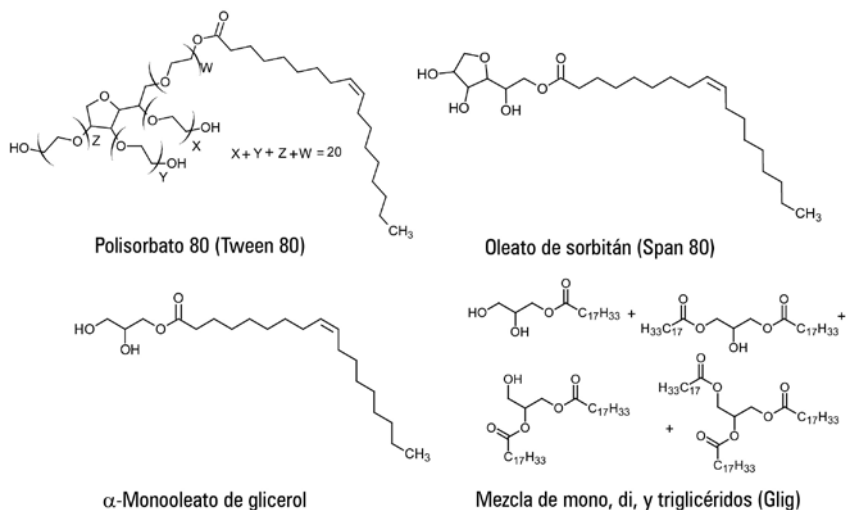


Figura 2.2. Estructuras de los aditivos anti-empañantes utilizados en el desarrollo de empaques prototipo, Universidad Nacional de Colombia

Fabricación y evaluación de los empaques

Como producto a analizar se escogió la gulupa tipo exportación, teniendo en cuenta que este producto presenta en la actualidad los problemas de poscosecha antes descritos y también un prometedor y creciente mercado internacio-

nal. Las frutas se seleccionaron entre el 70 y 80 % de madurez con base en el color de la cáscara, haciéndoles un pre tratamiento con un producto comercial para controlar el crecimiento de microorganismos.

Los cuatro aditivos fueron incorporados en el LDPE mediante un proceso de extrusión, en porcentajes máxicos de 0,2, 0,5 y 1,0 % a excepción del polisorbato 80 (TWEEN 80) que se adicionó en 0,2, 0,5 y 1,5 % (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011). Obteniéndose pellets con los diferentes aditivos, los cuales fueron extruidos como una película monocapa. Los empaques así obtenidos fueron de ancho entre 18,2 y 20 cm y con las propiedades descritas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Características técnicas de los empaques obtenidos por extrusión. Laboratorio de polímeros, Universidad Nacional de Colombia

PROPIEDAD	MEDIDA	UNIDADES
Módulo	523 ± 96	N/mm ²
Espesor	0,0220 ± 0,0007	mm
Elongación	288 ± 35	%
Cristalinidad	14	%
Velocidad de transmisión de O ₂	86 ± 3	cm ³ /m ² .día

Para escoger el mejor empaque anti-empañante, se realizaron medidas de tensión superficial (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011; Pieters *et al.*, 1997), transmisión de luz (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011; Pieters *et al.*, 1997), ángulos de contacto (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011; Pollet y Pieters 1999) y pruebas de empañamiento en frío (Piringer, 2008; Coles, 2003; Wagner, 2001; Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011). Todas las anteriores pruebas mostraron que el mejor empaque anti-empañante es LDPE-Spam (1%) puesto que se disminuyó la formación de empañamiento hasta en un 70% con respecto al LDPE sin aditivo. A este empaque denominado “Makropol M” se le realizaron las pruebas de almacenamiento usando gulupa como producto fresco, comparando contra un blanco (LDPE sin aditivos) y contra *Xtend*® (empaque comercial). Siguiendo la siguiente metodología experimental: En el tiempo cero, se midió el peso de todas las frutas y se almacenaron tres gulupas por empaque. Cada propiedad se evaluó una vez por semana durante un período de 49 días para Makropol M y LDPE, y 35 días para *Xtend*® y control. Cada vez que se realizaron las medidas, se destaparon tres empaques, evaluando el porcentaje de pérdida de peso y propiedades fisicoquímicas para nueve frutas por empaque. Para el control se siguió el mismo procedimiento (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

La pérdida de peso (Figura 2.3) de la gulupa en cada uno de los empaques estudiados, muestra que la fruta sin empacar (control) fue la que mayor pérdida de peso presentó, siendo este valor en el último período de almacenamiento de 8 ± 1 %. Mientras que la gulupa en *Xtend*® registró una pérdida de peso del $2,4 \pm 0,2$ %, y en LDPE y Makropol F presentaron tan solo $0,012 \pm 0,002$ % y $0,014 \pm 0,003$ %, respectivamente (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

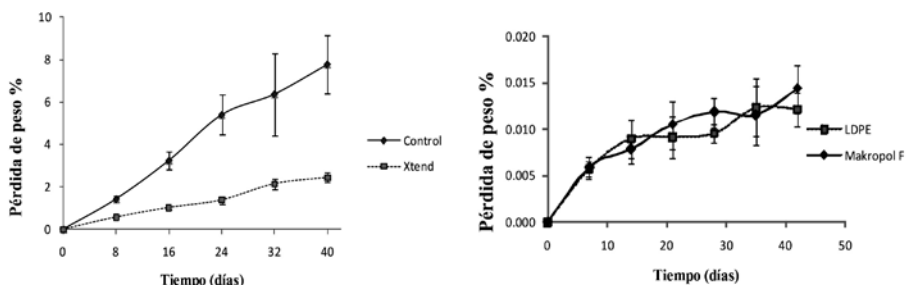


Figura 2.3. Pérdida de peso de la gulupa durante el almacenamiento usando diferentes empaques poliméricos y un control sin empaque

En la Figura 2.4 se observa que el control y la fruta almacenada en *Xtend*®, así como la fruta en Makropol M y LDPE no presentaron diferencias en los índices de madurez (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

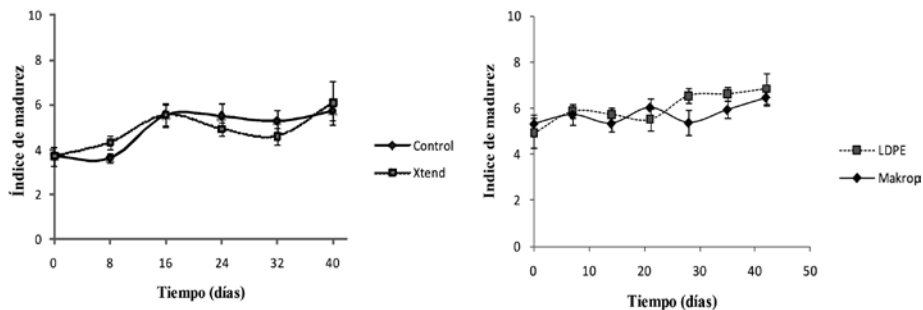


Figura 2.4. Índice de madurez de la gulupa durante el almacenamiento en los empaques Makropol M y LDPE

La textura es una característica importante, mediante la cual fácilmente los consumidores juzgan de manera rápida y subjetiva la calidad interna de la fruta. En estas medidas, la textura se relaciona con el ablandamiento, y los resultados se observan en la Figura 2.5.

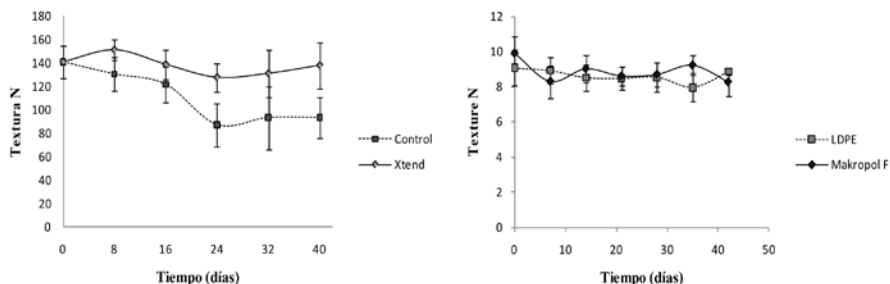


Figura 2.5. Textura de la gulupa durante el almacenamiento

Con LDPE, Makropol M y *Xtend*® se observó que la textura permanece aproximadamente constante hasta el final del almacenamiento. Por otro lado, en el control se observó ablandamiento que se puede correlacionar con la pérdida de peso, y esto se debe a un decrecimiento en la presión de turgencia en la pared celular, como resultado de la pérdida de agua (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

Con el objeto de verificar si hay efecto sinérgico, donde también el aditivo anti-empañante trabaje como anti-maduración, se cuantificó la producción de etileno por cromatografía de gases, en busca de conocer el nivel de madurez relativo de la fruta en los empaques. Los resultados obtenidos de la cantidad de etileno producido durante el almacenamiento se presentan en la Figura 2.6 (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

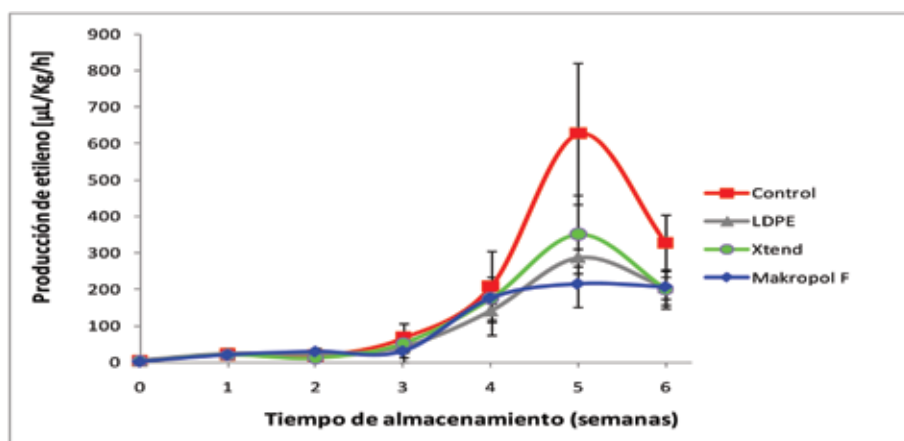


Figura 2.6. Cantidad de etileno producido durante el período de almacenamiento con diferentes empaques

Entre los tratamientos LDPE, *Xtend*® y Makropol M no se encontró diferencia significativa en la producción de etileno. Sin embargo, estos si la presentan con respecto al control. Estas diferencias de producción de etileno entre la fruta empaçada y sin empaçar se debe principalmente al MAP que proporciona el empaque.

Con los resultados de las pruebas anteriores se logró encontrar que el mejor empaque anti-empañante es el que contiene Span 80 al 1%. En las pruebas de almacenamiento de la fruta en Makropol M se encontraron resultados muy satisfactorios. Con las pruebas fisicoquímicas se observa que Makropol M evita más eficientemente la pérdida de peso de la gulupa en almacenamiento que el empaque comercial *Xtend*® *passion fruit*. Con respecto al pH, el índice de madurez, la textura y la producción de etileno de la fruta, Makropol M se comporta muy similar al empaque comercial. Adicionalmente, se realizó un panel de catación comparando producto almacenado en Makropol M y *Xtend*® contra un control (fruta totalmente fresca en óptimas condiciones). En estas pruebas de vida útil sensorial, Makropol M fue superior en la apariencia y color de la cáscara, y muy similar en aroma y sabor de la pulpa de la fruta comparado con el empaque comercial; sin embargo, el empaque comercial fue ligeramente mejor en apariencia y color de la pulpa, pero este último parámetro se considera de menor importancia en la calidad del producto (Gutiérrez, 2011; Martínez, 2011).

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que Makropol M logra propiedades de calidad en la fruta equivalentes al empaque comercial *Xtend*® (importado) en algunos aspectos, y superior en otros. Por lo cual esto muestra que es posible reemplazar el empaque comercial por uno más económico y de producción nacional.

AGRADECIMIENTOS

A los financiadores: Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá, Ocati S.A. y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

LITERATURA CITADA

- AHVENAINEN R. 2003. Novel Food Packaging techniques. Washington, D.C., CRC press. p. 5-20.
- COLES R. 2003. Food Packaging Technology. Boca Raton FL, CRC press. p. 318.

- GUTIÉRREZ LA. 2011. Síntesis y caracterización de aditivos, proceso de extrusión, pruebas de tensión superficial, transmisión de luz, ángulos de contacto, empañamiento en frío, pérdida de peso, índice de madurez, textura, análisis cromatográfico y análisis sensorial. Tesis de maestría, Departamento de química, Universidad Nacional de Colombia
- MARTÍNEZ S. 2011. Síntesis y caracterización de aditivos, proceso de extrusión, pruebas de tensión superficial, transmisión de luz, ángulos de contacto, empañamiento en frío, pérdida de peso, índice de madurez, textura, análisis cromatográfico y análisis sensorial. Tesis de maestría, Departamento de química, Universidad Nacional de Colombia.
- PALIYATH G., MURR D., HANDA A., LURIE S. 2008. Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables and flowers. USA, Wiley-Blackwell. p. 13
- PIETERS J., DELTOUR J., DEBRUYCKERE M. 1997. Light transmission through condensation on glass and polyethylene. *Agricultural and Forest Meteorology*. 85 (1): 51-62.
- PIRINGER O. 2008. Plastic Packaging Interactions with Food and Pharmaceuticals 2th Edition. Germany, WILEY-VCH. p. 64.
- POLLET I., PIETERS J. 1999. Condensation and Radiation Transmittance of Greenhouse Cladding Materials: Part 1, Laboratory Measuring Unit and Performance. *Journal Agricultural Engineering Research*. 74(4): 369-377.
- RAY B. 2005. *Fundamental Food Microbiology*. 3th Edition. Washington, D.C., CRC press. 439pp.
- SANDHYA. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*. 43 (3): 381-392.
- WAGNER P. 2001. Anti-fog additives give clear advantage. *Plastics Additives and Compounding*. 3(11): 18-21.
- YAHIA E. 2009. *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. Boca Raton FL, CRC press. p.1-12.
- ZWEIFEL H. 2000. Antifogging additives. En: *Plastics Additives Handbook* 5th Edition. Munich: Hanser publishers. pp. 609-626.