

La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos

Silvia Marcela Ospina Meneses¹, José Régulo Cartagena Valenzuela²

Modified atmosphere: an alternative for food preservation

A atmosfera modificada: uma alternativa para a conservação dos alimentos

Resumen

La técnica de conservación en atmósfera modificada consiste en empaquetar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO₂ y pobres en O₂, los cuales reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo.

Palabras clave: Frutas. Hortalizas. Conservación de alimentos. Atmósfera modificada.

Abstract

The modified atmosphere technique consists on packing food in materials that produce a barrier against the diffusion of gasses, in which the gas environment has been modified in order to lower the respiration grade and the microbial growth, and also delaying the enzymatic development aiming to enlarge the usefulness time of the product. Depending

on the demands of the food to be packed, an atmosphere with environments rich in CO₂ and poor in O₂ will be required. They reduce the respiration process in the products, keeping their physical-chemical, organoleptic and micro biological characteristics for a longer term.

Key words: Fruits. Vegetables. Food preservation. Modified atmosphere.

Resumo

A técnica de conservação em atmosfera modificada consiste em embalar os produtos alimentícios em materiais com barreira à difusão dos gases, nos quais o ambiente gasoso foi modificado para diminuir o grau de respiração, reduzir o crescimento microbiano e atrasar a deterioração enzimática com o propósito de alongar a vida útil do produto. Dependendo das exigências do alimento a embalar, se requererá uma atmosfera com ambientes ricos em CO₂ e pobres em O₂, os quais reduzem o processo de respiração nos produtos, conservando suas características físico-químicas, organolépticas e microbiológicas por um maior tempo.

Palavras chaves: Frutas. Hortalizas. Conservação de alimentos. Atmosfera modificada.

¹ Ingeniera de Alimentos. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Especialista en Mercadeo. Jefe del Programa de Ingeniería de Alimentos y líder del Grupo de Investigación en Innovación Alimentaria –GRIAL- de la Corporación Universitaria Lasallista.

² Ingeniero Agrónomo. PhD en Fisiología de Frutales de Mississippi State University. Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Correspondencia: Silvia Marcela Ospina Meneses; email: siospina@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 12/04/2008; fecha de aprobación: 22/09/2008

Introducción

Las frutas y hortalizas son elementos importantes de la alimentación humana y constituyen buenas fuentes de energía, grasas, carbohidratos, calcio, fósforo, hierro, magnesio y vitaminas como A, B6, B12, C, tiamina, riboflavina y niacina. Las frutas y hortalizas proporcionan más del 90% de la vitamina C en la alimentación humana y son también excelentes fuentes de fibra, un componente de gran importancia en la dieta.

La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en empaclar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto¹.

Esta técnica tuvo sus orígenes en los años 30 cuando las embarcaciones que transportaban carne y mariscos desde Australia y Nueva Zelanda a Inglaterra, utilizaron gases en la preservación de los productos².

Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO₂ y pobres en O₂ -los cuales reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo-, y en función de ésta, se elegirá el empaque o película de protección que también tendrá que ofrecer una transparencia que permita visualizar los productos y que brinde resistencia mecánica³.

El envasado en AM es un método de empaquetado que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases, la mezcla de gases a emplear depende el tipo de producto². La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase³.

Generación de la atmósfera modificada

Modificación pasiva. Después de ser cosechadas, las frutas y vegetales frescos continúan sus procesos metabólicos, consumen O₂ y producen Dióxido de Carbono y vapor de agua. La modificación de la atmósfera alrededor del producto se lleva pasivamente por efecto de la respiración y permeabilidad de la película. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica⁴.

Cuando la velocidad de consumo de O₂ y producción de Dióxido de Carbono es acompañada con un buen intercambio gaseoso de la película, es posible tener una AM adecuada para el producto. El equilibrio se logra después de determinado tiempo, dependiendo de los requerimientos del producto vegetal y permeabilidad, los cuales están en función de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Cuando se alcanza el equilibrio pueden lograrse concentraciones alrededor del producto entre 2-5% de O₂ y 3-8% de CO₂. Se ha observado que estas concentraciones son eficaces para ampliar la vida útil de una amplia gama de frutas y hortalizas retrasando los procesos de maduración y de senescencia, tales como degradación de la clorofila, ablandamiento, oscurecimiento enzimático y disminución de los síntomas de daño por frío³.

Si se elige una película de una adecuada permeabilidad intermedia, se establecerá un equilibrio cuando las intensidades de transmisión del O₂ y del CO₂ a través del envase sean iguales a la intensidad de respiración del producto.

Envasado activo. Se refiere a la incorporación de ciertos aditivos en la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera dentro del envase y prolongar la vida de anaquel del producto. Bajo esta definición, el envasado activo puede utilizar: absorbentes de O₂, absorbentes-liberadores de CO₂, liberadores de etanol y absorbentes de etileno. Esta tecnología es relativamente nueva, sin embargo los

costos son más altos que la AM normal. Para el caso de absorbedores de O₂ el costo aditivo es de US\$ 0,25 a US\$ 0,75 por envase¹.

Efectos de la modificación de la atmósfera

Los beneficios o perjuicios de esta técnica dependen del producto, variedad, cultivo, estado fisiológico, composición de la atmósfera, temperatura, humedad relativa (HR) y duración del almacenamiento, lo que explica la diversidad de resultados para un mismo producto, su uso adecuado mejora normalmente los resultados de la refrigeración convencional en atmósfera de aire⁵⁻⁷.

Para lograr los beneficios deseables de la AM los productos deben conservarse bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa y de composición de la atmósfera en O₂, CO₂ y C₂H₄, sin exceder los límites de tolerancia a bajos niveles de O₂ y elevados de CO₂ que implican riesgos desfavorables (tablas 1 y 2)⁵.

La mayoría de factores alterantes en los alimentos se puede minimizar, e incluso inhibirse, con el empleo de gases como N₂, O₂ y CO₂, a través del empaque y con el sistema de atmósfera modificada, permitiendo así evitar, retardar o minimizar las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas, que ocasionan la degradación en los alimentos que se producen durante los períodos de almacenamiento⁸.

Entre los beneficios de la AM se citan^{3,5,8-13}:

- Frenan la actividad respiratoria.
- Reducen o inhiben la síntesis de etileno.
- Inhiben la maduración.
- Limitan el ablandamiento (actividad de la pectinestearasa y la poligalacturonasa).
- Retrasan las pérdidas de textura.
- Restringen los cambios de composición (pérdida de acidez y de azúcares, degradación de clorofila, desarrollo de antocianos, biosíntesis de carotenos, prevención de la rancidez y el pardeamiento enzimático paliando las alteraciones fisiológicas y los daños por frío, manteniendo el color y protegiendo las vitaminas de los productos frescos).

El envasado en AM tiene las siguientes ventajas^{8,9,11-13}:

- Reduce la velocidad de deterioro del órgano vegetal.
- Prolonga la utilidad y a veces conserva la calidad de frutas y hortalizas.
- Se retarda el desarrollo de microorganismos.
- No deja residuos en el producto tratado.
- Se minimiza el uso de aditivos y conservantes.
- Se mantienen las características organolépticas durante la comercialización.
- Se evitan las mezclas de olores en el sitio de almacenamiento.
- Mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno.
- No causa problemas ambientales.
- Puede aumentar las ganancias de los productos.
- Reducción de deshechos a nivel detallista.

Además, la conservación en atmósfera modificada evita el marchitamiento y sus efectos asociados así como la sensibilización de los productos a los daños mecánicos y al C₂H₄ cuando las concentraciones de O₂ son inferiores al 8% y/o las de CO₂ superiores al 1-2% y con ello se retrasa la senescencia⁵.

El uso de la atmósfera modificada, además, tiene como inconvenientes⁹: la inversión en maquinaria de envasado con gas, el costo de los gases y materiales de envasado y que los beneficios del envasado se pierden cuando se abre o se perfora el envase.

Se ha citado como efecto perjudicial, principalmente, el hecho de que si la concentración de O₂ no desciende del 12% no suele ser efectiva mientras que entre el 1 y el 2% de O₂ (punto de extinción de la fermentación, variable con el producto), puede inducir la respiración anoxigénica que empeora la calidad de los vegetales en conservación⁵.

Gases utilizados en el envase en atmósfera modificada

El concepto de envasado de alimentos frescos en AM es la sustitución en el envase del aire que rodea al alimento con una mezcla de gases en proporción diferente a la del aire^{13,14}, el cual tiene una composición semejante a la del aire seco a nivel del mar (ver tabla 3)³.

Tabla 1. Efectos del empobrecimiento en O₂ de la atmósfera de conservación en frutas y hortalizas⁵

Favorables	Desfavorables (por debajo del límite inferior tolerable)
<ul style="list-style-type: none"> • Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración. • Aumento en ciertos casos de la duración de la conservación. • Frenado de la maduración y de la degradación clorofílica. • Frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, pectinas, etc. • Disminución de la síntesis de C₂H₄ y de compuestos aromáticos. • Disminución de algunos daños físicos (escaldadura blanda) y de senescencia. • Reducción en frutas de pepita de algunas alteraciones fúngicas. • A muy bajas concentraciones, menor desarrollo de algunos géneros fúngicos de alteración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maduración anormal. • Fermentación propia con alteración del sabor y aroma. • Sensibilización de los tejidos a los daños físicos y a elevadas concentraciones de CO₂ con desarrollo de pardeamientos y necrosis: pardeamientos superficiales e internos, corazón pardo. Formación de depresiones (picado) en la epidermis. Necrosis en los tejidos. • Desarrollo de alteraciones fúngicas en herida de tejidos dañados.

Tabla 2. Efectos del empobrecimiento en CO₂ de la atmósfera de conservación en frutas y hortalizas⁵

Favorables	Desfavorables (por debajo del límite inferior tolerable)
<ul style="list-style-type: none"> • Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración. • Frenado de la transpiración. • Aumento en ciertos casos de la duración de la conservación. • Disminución e incluso inhibición de la síntesis de C₂H₄ y retraso en la aparición del climaterio. • Frenado de los procesos de maduración: frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, de la degradación de la clorofila, entre otros. • En concentraciones superiores al 15% ligera disminución del desarrollo de algunos hongos y de bacterias e insectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maduración anormal. • Producción de etanol, acetaldehídos y otros compuestos. • Calor anormal (degradación de antocianos). • Desarrollo de alteraciones específicas, como la mancha parda de la lechuga. • Sensibilización de los tejidos a los daños físicos: pardeamiento interno y superficial, corazón pardo, escaldadura, necrosis de los tejidos. Formación de cavernas. Decoloración de la pulpa. Desarrollo de textura harinosa. Pérdida de textura, ablandamiento y aspecto acuoso. Desarrollo de alteraciones fúngicas secundarias sobre tejidos dañados.

Tabla 3. Composición gaseosa del aire seco a nivel del mar

Gas	Concentración (%)
CO ₂	0,03
O ₂	20,99
N ₂	78,03
Ar	0,94
H ₂	0,01

Hay que tener en cuenta que el aire y O_2 ejercen efectos destructores sobre las vitaminas (particularmente la vitamina A y C) sobre los colores, los sabores y otros componentes de los alimentos.

Algunos microorganismos necesitan O_2 APRA su desarrollo por lo tanto una forma de conservar los alimentos preservándolos del desarrollo de este tipo de microorganismos será ponerlos fuera del contacto del aire, por ejemplo envasándolos en atmósferas pobres de O_2 lo cual se consigue por medios físicos y da lugar a otros métodos industriales de conservación: vacío, gases inertes y atmósferas controladas o atmósferas modificadas.

Las principales características de cada uno de los gases más importantes son^{8,9,14-16}:

Dióxido de Carbono. Gas no combustible, incoloro a temperatura ambiente y presión normal, con olor y sabor ácidos, soluble en agua a temperatura ambiente en relación de un litro por un litro. Se encuentra en la atmósfera en una concentración entre 300-500 ppm, más denso que el aire y más soluble en diluciones acuosas que el N_2 o el O_2 .

El efecto del CO_2 se fundamenta en que desplaza el O_2 -gas vital para muchos microorganismos y cambia las condiciones de pH en la superficie del alimento. Actúa principalmente frente a los microorganismos oxigénicos obligados, los mohos son muy resistentes al CO_2 y su crecimiento no puede ser totalmente detenido mediante tratamiento de CO_2 a presión normal.

El CO_2 ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento bacteriano y fúngico, aunque su acción depende de factores como concentración en la atmósfera y la temperatura de almacenamiento ya que temperaturas bajas aumentan la solubilidad del gas tanto intra como intercelularmente. Las altas concentraciones de gas (superiores al 20%) inducen reacciones anoxigénicas.

Es importante tener en cuenta que el CO_2 se difunde 30 veces más rápido a través de los paquetes que los otros gases; este fenómeno ha inducido entonces el uso de choques a altas concentraciones de gas previos al almacenamiento refrigerado.

Se ha observado que altas concentraciones de este gas reducen la tasa respiratoria de frutas y hortalizas y niveles superiores de 1%, pueden inhibir la acción del etileno. El modo de acción de este gas es que compete por los sitios activos con el etileno y evita su acción fisiológica en el fruto. Sin embargo, se ha observado que algunos productos son muy sensibles al CO_2 , provocando daño en el tejido vegetal que se manifiesta físicamente en el producto disminuyendo su calidad poscosecha.

Oxígeno. Concentraciones de O_2 inferiores a la normal existentes en el aire ambiente (21%) provocan una reducción de la intensidad respiratoria (IR), un retraso en la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según el producto y variedad de que se trate.

Concentraciones superiores a la normal del aire, pueden o no, elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración. En el caso de los limones se registra una inducción a la aparición de un pseudoclimaterio, caracterizado por un aumento sensible en la producción de anhídrido carbónico y un amagullamiento de los frutos.

Concentraciones de O_2 inferiores al 2,5% aumentan la producción de anhídrido carbónico y generan sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O_2 . A niveles del 1% de O_2 se han detectado sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos. Todo esto hace que en casos excepcionales no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de O_2 inferiores al 2%. Por otra parte, evitar el agotamiento del O_2 mediante la aireación en los paquetes así como en el manejo adecuado de los productos en almacenamiento, es posible conociendo el estudio fisiológico para cada producto en particular. A bajas temperaturas, el efecto de un nivel bajo de O_2 , es menos marcado que a temperaturas altas.

Nitrógeno. Es el principal componente del aire, en una proporción del 78% en volumen. En condiciones normales (20°C y 1 atm) se encuentra en fase gaseosa, siendo incoloro, inodoro e insípido.

El N_2 es un gas totalmente inerte y muy poco soluble en agua y grasas lo que le convierte en un producto ideal para la conservación de alimentos y bebidas. Por sus características fisicoquímicas el N_2 es utilizado en el empaque en AM para reemplazar el O_2 del interior del envase y evitar problemas oxidativos en productos de alto contenido de grasa; otra de sus funciones es actuar como gas de relleno evitando el "colapso de envase" cuando se utilizan altas concentraciones de CO_2 . Es efectivo contra los microorganismos pero es inoperante contra las

bacterias anoxigénicas. Para garantizar que dichas bacterias no se desarrollen en el empaque se utiliza una pequeña cantidad de O_2 .

En la tabla 4 se presentan las ventajas y desventajas de los gases más utilizados. El éxito de alguna aplicación no va a depender exclusivamente de la composición de la mezcla, sino que han de tenerse en cuenta factores importantes como son el material de envase, la temperatura de almacenamiento, el equipo de envasado y el producto a envasar⁹.

Tabla 4. Gases más utilizados en el envasado en atmósfera modificada⁹

	N_2	CO_2	O_2
Propiedades físicas	Inerte, insípido, insoluble.	Inerte, inodoro, ligero sabor ácido, soluble en agua y grasa.	Comburente, insípido e inodoro.
Ventajas	Desplazamiento de O_2 . Inhibición de aerobios. Evita oxidación de las grasas.	Bacteriostático. Fungistático. Insecticida	Oxigena carnes rojas. Inhibe anaerobios. Sostiene metabolismos vegetales.
Desventajas	-	Solubilidad en agua y grasa.	Oxidación de grasas.

La combinación de los gases dependerá fundamentalmente de¹⁷:

- El tipo de producto (contenido de humedad y de grasas, características microbiológicas, intensidad de la respiración, la necesidad de estabilización del color), que debería ser ensayado antes de empezar a empacar un producto nuevo con gases.
- El espacio de cabeza ya que este actúa como reservorio de CO_2 para conservar el gas que se pierde a través de la bolsa o que se absorbe del alimento. Este espacio de cabeza debe ser adecuado para incorporar gas en cantidad suficiente para que reacciones con el producto. En términos generales puede afirmarse que: cuanto mayor sea la vida útil que se desea lograr para el producto tanto mayor será el espacio de cabeza que se proporcione.
- Material de envase.
- Temperatura de almacenamiento.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, para cada uno de los gases puede afirmarse que en un producto envasado y refrigerado las concentraciones relativas de los gases no son estáticas, sino que cambian. Generalmente baja la concentración de O_2 y sube la concentración de CO_2 ².

Importancia del material para el envasado en atmósfera modificada (EAM)

Las características del empaque de las frutas y hortalizas son determinantes para evitar riesgos y perjuicios por oxidaciones, pérdidas de color, por la desecación, la proliferación de masas microbianas y otras contaminaciones en el empaquetado de frutas y hortalizas, así como para protegerlo contra gases y olores^{4,8}.

La elección de la película o empaque a utilizar va relacionada con el tiempo en que se desee

que la fruta u hortaliza permanezca empaquetada, así como con la temperatura del sitio de conservación. Los principales atributos que se deben conocer cuando se seleccionan los materiales para el envasado en AM de frutas y hortaliza son: permeabilidad a los gases, velocidad de transmisión del vapor de agua, propiedades mecánicas, tipo de envase, transparencia, fiabilidad de la soldadura y adaptación al proceso de microondas³.

Las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de ser recolectadas y en consecuencia, cualquier empaquetado posterior debe tener en cuenta esta actividad respiratoria. La reducción de O₂ y el enriquecimiento en CO₂ son consecuencias naturales del desarrollo de la respiración cuando las frutas y hortalizas frescas se almacenan en un envase herméticamente cerrado. Estas modificaciones en la composición de la atmósfera, provocan un descenso en la intensidad respiratoria del material vegetal³.

Si el producto está encerrado en una película impermeable, los niveles de O₂ en el interior del paquete, podrían descender a concentraciones muy bajas en las que se podría iniciar la respiración anoxigénica. Si las frutas u hortalizas se encierran en una película con excesiva permeabilidad, se producirá poca o ninguna modificación de la atmósfera en el interior del enva-

se. Si se selecciona una película de permeabilidad intermedia, se establece una adecuada AM de equilibrio (AMdE) cuando las intensidades de transmisión de O₂ y CO₂ a través del paquete son iguales a la intensidad de respiración del producto¹⁷.

La AMdE exactamente alcanzada dependerá necesariamente de la actividad respiratoria intrínseca del producto pero podría estar fuertemente influenciado por diferentes factores extrínsecos. Es necesario optimizar estos factores para cada producto de modo que se puedan alcanzar completamente los beneficios del envasado en atmósfera modificada. En la tabla 5 se proporciona la velocidad de transmisión del O₂ y del vapor de agua de una amplia variedad de películas de empaquetado utilizadas para el envasado en AM de productos frescos. Utilizando estos tipos de películas, se pueden obtener las atmósferas modificadas de equilibrio deseadas. La permeabilidad a los gases de un material de empaquetado depende de diversos factores como la naturaleza del gas, la estructura y espesor del material, temperatura y humedad relativa. El CO₂, O₂ y N₂ penetran a velocidades completamente diferentes. Sin embargo el orden CO₂>O₂>N₂ se mantiene siempre y las relaciones de permeabilidad CO₂/O₂ y O₂/N₂ se sitúan siempre en el rango 3-5. Por lo tanto, es posible estimar la permeabilidad al O₂³.

Tabla 5. Intensidad de transmisión de O₂ y vapor de agua de materiales de empaquetado seleccionados para frutas y hortalizas³

Película de empaque (25μ)	Intensidad de transmisión de O₂ (cm³m⁻².día.atm) 23°C 0%HR	Permeabilidad relativa a 23°C 0%HR	Intensidad de transmisión de vapor de agua (g/m².día) 38°C 90%HR*	Intensidad relativa de transmisión de vapor de agua a 28°C 90%HR
Polietileno de baja densidad (LDPE)	5.000-10.000	Alta	16-24	Semibarrera
Polipropileno (PP)	3.000-3.700	Baja	10-12	Semibarrera
Polipropileno orientado (OPP)	2.000-2.500	Baja	7	Barrera<10
Cloruro de polivinilo (PVC)	2.000-50.001	Baja	2.001	Muy alta
Poliéster (PET)	50-100	Baja	20-30	Semibarrera

* Las medidas de la transmisión de O₂ y vapor de aguas no son reales con las condiciones de refrigeración.

Es un problema que la humedad relativa en el interior del paquete sea demasiado alta, ya que de este modo se produce la condensación de la humedad y las condiciones favorables para el crecimiento microbiano provocando la podredumbre del producto.

Películas plásticas utilizadas para el EAM de frutas y hortalizas

Existen muchos materiales plásticos disponibles para utilizarlos en el envasado, pero relativamente pocos han sido empleados para envasar productos frescos y menos aun que tengan una permeabilidad a los gases que cumpla los requisitos para su empleo en el envasado en AM. Debido a que la concentración de O₂ en el envasado AM disminuye, desde un 25% al 21%, existe el peligro de que la concentración de CO₂ aumente desde el 0,03 al 16 – 19% en el interior del envase. Este hecho se produce porque existe una relación 1:1 entre el O₂ consumido y el CO₂ producido. Como estas concentraciones de CO₂ podrían ser perjudiciales para la mayoría de las frutas y hortalizas, una película ideal debería permitir que saliera mayor cantidad de CO₂ que la de O₂ que entra. La permeabilidad del CO₂ debería ser 3–5 veces superior a la permeabilidad del O₂, dependiendo de la atmósfera que se desea obtener. Varios polímeros utilizados en la formulación de materiales plásticos satisfacen este criterio. El polietileno de baja densidad y el cloruro de vinilo son los principales plásticos utilizados en el envasado de frutas y hortalizas, también se ha utilizado el poliestireno; en cambio sarán y poliéster presentan una baja permeabilidad a los gases que únicamente deberían emplearse para aquellos productos que tengan una intensidad respiratoria muy baja^{4,17,18}.

Tipos de películas

Polietileno de baja densidad (LDPE). Presenta una inercia química relativa y su permeabilidad es moderadamente baja al vapor de agua, pero alta para el O₂. En general, la permeabilidad a los gases es alta, y también presenta un reducido efecto barrera frente a olores; los aceites esenciales pasan rápidamente a través de los polietilenos de baja densidad⁸. Relacionado con el LDPE está el etileno-acetato de vinilo (EVA), un copolímero de etileno y acetato de vinilo (nor-

malmente con más del 4% de acetato de vinilo). El copolímero tiene mejores cualidades de soldadura; es decir, un umbral de temperatura de soldadura menor permite hacer el sellado a través de un cierto nivel de contaminación, como trazas de agua, condensación o grasa de los productos que se está envasando. Su comportamiento no es comparable con el obtenido en el polietileno lineal de baja densidad o "Surlyn", pero podría ser un progreso respecto al polietileno de baja densidad estándar³. El empleo de dos láminas de polietileno en las caras opuestas de una soldadura, con diferentes aditivos seleccionados, permite formar un cierre desprendible fuerte; en términos prácticos, una barrera adecuada y a pesar de todo desprendible³.

El polipropileno. Es químicamente similar al polietileno y puede ser extruído o coextruído con un elemento monómero para proporcionar características de sellado por calor. El polipropileno de tipo orientado, aunque tiene mayores rangos de barrera frente al vapor de agua que el polietileno, también proporciona una mayor barrera a los gases -siete a diez veces-, teniendo además una excelente resistencia a las grasas³.

El policloruro vinilo (PVC). En su forma no plastificada, esta película es la lámina base termoformable más ampliamente utilizada para envasado en atmósfera modificada. El PVC posee una buena capacidad barrera frente a los gases y moderada al vapor de agua. Posee una excelente resistencia a grasas y aceites, y en su forma no plastificada, UPVC, es posible pulir, incluso formando bandejas planas o profundas³.

Las ventajas de algunas películas plásticas¹⁹:

Para el polietileno de baja densidad (LDPE): baja permeabilidad al vapor de agua, alta permeabilidad a gases, aromas y grasas, excelente sellabilidad, bajo costo comparativo con otros materiales de empaque, buena maquinabilidad, claridad y moderada resistencia a la tensión, menor peso por unidad de empaque, seguridad para el consumidor final, agrega fácilmente valor a su producto, se pueden lograr barreras adecuadas para cada alimento en especial, y facilidad de cambio para el usuario del empaque.

Para el polipropileno (PP): producido por polimerización del propileno, es más rígido, fuerte y luminoso que el polietileno, tiene baja permeabilidad al vapor de agua, es estable a alta temperatura, buena barrera a las grasas, humedad y aromas, buena sellabilidad, y la película es orientada monoaxial o biaxialmente, lo que incrementa la resistencia a la tensión y a la abrasión.

Para el polipropileno biorientado (BOPP): buena barrera a las grasas, humedad y aromas, regular barrera a los gases, excelente transparencia y brillo y excelente sustrato de impresión.

Las propiedades a considerar en las películas plásticas

Los materiales de empaquetado para el envasado en AM de frutas y hortalizas deben tener suficiente fuerza para resistir la punción, soportar las flexiones sucesivas, y tolerar las tensiones mecánicas sufridas durante la manipulación y la distribución. En cuanto a las condiciones de tipo mecánico, se deben tener en cuenta la dilatabilidad, resistencia a rotura y al arranque, como la adherencia entre las distintas capas para las hojas compuestas, las cuales presentan la ventaja de resistir los desgarros iniciales y un corte mejor que la mayoría de las películas sencillas. Unas propiedades mecánicas pobres pueden provocar daños en el paquete y pérdida de la atmósfera interna.

Propiedades ópticas, tales como opacidad y transparencia, son factores influyentes en la conservación de la calidad de los productos, ya que algunos rayos luminosos estimulan los cambios oxidativos y auto-oxidativos de las grasas, modificaciones de las proteínas y la desintegración de la vitamina C³.

Para la mayoría de los productos envasados en AM, es deseable un envase transparente, de modo que el producto sea visible claramente para el consumidor. Sin embargo, los productos con alto contenido de humedad almacenados a bajas temperaturas tienen la tendencia a formar un velo en el interior del paquete, de ese modo se oscurece el producto. Por ello, muchas películas de envasado en AM están tratadas con un recubrimiento o aditivo para proporcionarle propiedades "antivaho" para mejorar la visibilidad³.

La permeabilidad a los gases y vapor de agua es función de la naturaleza del polímero, del gas y de la interacción gas-polímero, y de factores externos como temperatura, presión, entre otros⁹. La inercia química consiste en que los envases no deben ceder al alimento parte de sus componentes, en cantidades que puedan afectarlo organolépticamente durante su almacenamiento; tampoco debe permitir que el alimento pueda perder algún componente minoritario, como pueden ser aromas⁹.

Efecto de microorganismos en la calidad de los alimentos EAM

El deterioro por microorganismos es causado principalmente por el crecimiento de bacterias, levaduras y hongos que afectan considerablemente la calidad de los alimentos. Generalmente, se caracteriza por el desarrollo de cambios sensoriales indeseables, color, textura, sabor y olores desagradables. Para la conservación durante un periodo más largo que requieren la mayoría de los alimentos, hace falta inactivar o controlar los microorganismos los cuales son la causa principal de la descomposición. El alimento o sustrato, determina los microorganismos que pueden desarrollarse, si se conocen las características del alimento se puede predecir la flora microbiana que es posible que crezca en él.

Los principales factores de la descomposición de todo alimento que influye en la actividad microbiana son¹⁷:

Incidencia en el pH. Cada microorganismo tiene un pH mínimo, óptimo y máximo de crecimiento. Los alimentos cuyo pH es bajo (valores inferiores a 4,5) no son alterados fácilmente por las bacterias, siendo más sensibles a la alteración por levaduras y mohos los cuales toleran mejor la acidez que las bacterias, es el caso general de las frutas. El pH de los alimentos depende no solo de la cantidad de sustancias ácidas y básicas que contengan, sino también de la capacidad tampón del producto, que generalmente esta asociada a la concentración de proteínas; por esta razón, en las frutas y hortalizas la adición de sustancias ácidas, de origen fermentativo o no, produce variaciones importantes de pH, debido a su baja capacidad tampón.

Necesidades de agua. La actividad de agua, (A_w), indica la disponibilidad de agua de un medio determinado para las reacciones químicas, bioquímicas y para la transferencia a través de membranas semipermeables. Su valor oscila entre 0 y 1. Se define como la relación entre la presión de vapor del agua en la disolución (P) y la presión de vapor de agua pura (P_o), de acuerdo con la ecuación 1:

$$A_w = P/P_o \text{ (Ecuación 1)}$$

La humedad relativa (HR) del ambiente, en un medio cerrado, esta relacionada con la A_w del producto, ver ecuación 2.

$$A_w = HR/100 \text{ (Ecuación 2)}$$

En alimentos con A_w de agua baja (0,61 – 0,85) las alteraciones microbianas más frecuentes son producidas por mohos.

Existen algunos factores que influyen sobre las necesidades de A_w de los microorganismos:

- En general, cuanto más apropiado sea el medio de cultivo para el desarrollo de los microorganismos, tanto menor es el valor de la A_w limitante.
- A temperatura próxima a la óptima de crecimiento, la mayoría de los microorganismos, tienen una tolerancia máxima a los valores bajos de la A_w .
- Cuando en el medio existe aire, la multiplicación de los microorganismos oxigénicos se produce a valores más bajos de A_w que cuando no existe aire, cuando se trata de microorganismos anoxigénicos ocurre lo contrario.
- A valores de pH próximos a la neutralidad, la mayoría de los microorganismos son más tolerantes a A_w baja que cuando se encuentran en medios ácidos o básicos.
- La presencia de sustancias inhibitoras reduce el intervalo de valores de A_w que permite la multiplicación de los microorganismos.

Las levaduras para su crecimiento necesitan O_2 , fuentes de carbono orgánico y N_2 mineral u orgánico, diversos minerales y una temperatura y pH adecuados. Algunas además necesitan de una o varias vitaminas y otros factores de creci-

miento, utilizan numerosos substratos carbonados, bien por vía oxidativa únicamente o, como pasa en la mayoría de los casos, por vía fermentativa, después de una fase inicial de crecimiento oxigénico¹⁷. Las levaduras no dan lugar a intoxicaciones alimentarias y únicamente *Candida albicans* y *Cryptococcus neoformans* son patógenos. Aunque no originan problemas sanitarios en los alimentos, si ocasionan alteraciones de los productos azucarados y ácidos. Las levaduras pertenecen a tres clases de hongos: Ascomicetos, Basidiomicetos y Deuteromicetos¹⁷.

Potencial de óxido – reducción. En función de sus exigencias en O_2 y/o en su toxicidad, los microorganismos se clasifican en: aerobios estrictos, anaerobios estrictos y aerobios facultativos.

Sustancias inhibitoras. Son moléculas que poseen un poder bacteriostático y/o bactericida, algunas pueden ser específicamente inhibitoras de mohos. Existe una amplia gama de sustancias, que desarrollan una acción inhibitora, tanto por su composición química, como por los mecanismos de actuación. Pueden ser también añadidas por el hombre para la conservación de los alimentos.

Temperatura. Es uno de los factores más importantes por su influencia en el crecimiento de los microorganismos, determina el estado físico del agua en un determinado medio y, por tanto, su mayor o menor disponibilidad para el crecimiento de los microorganismos, la temperatura actúa además, sobre la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas.

Durante el empaque en AM, es necesario mantener un buen control de la temperatura de almacenamiento con el fin de lograr un buen mantenimiento de la calidad organoléptica del producto. Cabe mencionar que las bajas temperaturas por sí solas reducen los procesos metabólicos del producto, dando como resultado una mayor vida de anaquel. Además, a bajas temperaturas la velocidad de permeación de las películas plásticas se reduce, manteniendo estable la atmósfera dentro del envase. De la misma forma, los patógenos producen menos toxinas, haciendo más confiable el sistema de envasado a bajas temperaturas. Con la excepción

de algunos productos de panadería y productos secos y semi – secos, el EAM requiere de las bajas temperaturas de almacenamiento.

Efecto del EAM sobre el crecimiento microbiano. En los últimos años se ha avanzado bastante sobre el efecto de las atmósferas modificadas en una gran variedad de microorganismos. Sin embargo, se desconoce en gran medida los efectos en la AM de algunos patógenos de importancia como *Listeria monocytigenes* y *Yersinia enterocolitica*. En general se ha visto que los altos niveles de CO₂ inhiben el desarrollo de *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Echerichia coli* y *Yersinia enterocolitica*. El grado de inhibición aumenta a medida que se reduce la temperatura de almacenamiento. Uno de los patógenos de gran importancia cuando se utilizan EAM y bajas temperaturas es *Clostridium botulinum* tipo E ya que es un microorganismo oxigénico y capaz de crecer a bajas temperaturas³.

Concentraciones de CO₂ > 5% inhiben el crecimiento de la mayoría de bacterias responsables del deterioro, especialmente las especies psocrófilas que crecen en un rango amplio de temperaturas de refrigeración. En general las bacterias Gram (-) son más sensibles al CO₂ que las bacterias Gram (+). Otras bacterias como *Micrococcus spp.* y *Bacillus spp.*, son muy sensibles y no crecen en presencia de CO₃¹⁷.

La mayoría de los microorganismos que causan el deterioro de los alimentos, requieren de O₂, pero al mismo tiempo son muy sensibles al CO₂; sin embargo, algunos alimentos con baja actividad de agua, como productos de panadería que son susceptibles a hongos, el empaque en AM es muy efectivo para inhibir el desarrollo de estos patógenos y para mantener la calidad durante un tiempo considerable. Por otra parte, muchas levaduras pueden crecer en ausencia de O₂ y resistir concentraciones altas de CO₂³.

Conclusión

El empaque en AM es una tecnología utilizada para aumentar la vida útil de algunos productos, ofrece una excelente garantía para mejorar la conservación de los alimentos, sin tener que

renunciar a las características atractivas de los envases tradicionales.

Referencias

1. GONZÁLEZ, G. Curso Internacional empaques de alimentos en atmósfera modificada. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2000, 134 p.
2. DRAKE, S.R. et al. 2004. Quality of modified atmosphere packaged 'bartlett' pears as influenced by time and type of storage. In : Journal of Food Processing and Preservation. Vol. 28, No. 5 (2004); p. 348-358.
3. PARRY, R.T. Envasado de los alimentos en atmósferas modificada. Madrid, España; Madrid Vicente Ediciones, 1995. p 15-150.
4. INFOAGRO. Tecnología del envasado en atmósferas modificadas (1ª parte). [online]. Madrid : Infoagro system, s.f. [Citado el 25 de julio de 2008]. URL disponible en <http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/ensvasado.htm>
5. ARTES CALERO, F. Modificaciones de la atmósfera y tratamiento térmicos. En: CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSCOSECHA Y AGRO EXPORTACIONES. [3: Santafé de Bogotá : 2000]. Control de fisiopatías en frutas durante el almacenamiento. Santafé de Bogotá : El Congreso, 2000.
6. APL MOVING BUSINESS FORWARD. Modified/ Controlled Atmosphere. [online]. Oakland, California : APL, 2008. [cited 13 june 2008]. URL <<http://www.apl.com/refer/html/atmosphere.html>>
7. BRODY, Aaron L. Modified Atmosphere Packaging. In: HELDMAN, Dennis R. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering. s.l. : Taylor & Francis, 2003. P. 666-670.
8. RESTREPO, R. Sistema de conservación de alimentos bajo el sistema de atmósfera modificada. En: CURSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA CÁRNICA. Diseño integral del producto, excelencia para la competitividad. [3 : 2003]. s.l. : El Curso, 2003. 13 p.
9. RODRÍGUEZ, G., Martha. Envasado de alimentos bajo atmósfera protectora. En: Revista Alimentación Equipos y Tecnología. Vol 17, No. 5 (jun. 1998); p. 87-92.

10. ABC PACK. Ventajas reales del M.A.P. [online]. Tarragona : ABC Pack, 2008. [Citado el 23 de agosto de 2008]. URL disponible en <<http://www.abc-pack.com/default.php/name/Atm%F3sfera%20modificada/cPath/63>>
11. AIR LIQUIDE. Envasado en atmósfera modificada. [online]. Madrid : Air Liquide, 2008. [citado el 01 de Julio de 2008]. URL disponible <<http://www.es.airliquide.com/es/sus-necesidades-sonde/atmosferas-de-ensado.html>>
12. ZAGORY, Devon. What Modified Atmosphere Packaging.Can and Can't Do for You. WSU Tree Fruit Research and Extension Center. [online]. Washington : Washington State University, 2005. [Citado 17 de marzo de 2008]. URL disponible <<http://postharvest.tfrec.wsu.edu/pgDisplay.php?article=PC2000X>>
13. FINN, Mary. Safety of modified atmosphere packaged vegetables. En : THE SOCIETY OF FOOD HYGIENE AND TECHNOLOGY. Hygiene Review 1997. [online]. Middleton, UK : The Society of Food Hygiene and Technology, 1997. [Citado 25 de agosto de 2008]. URL disponible <http://www.sofht.co.uk/isfht/irish_97_atmosphere.htm>
14. MULLAN, W.M.A. Science and technology of modified atmosphere packaging. [On-line] UK : Dairy Science and Food Technology, 2002. [Cited 25 august 2008]. URL Available: <<http://www.dairyscience.info/map-science.asp>>
15. VILLAMIZAR, F. y OSPINA, J. Frutas y hortalizas: Manejo tecnológico poscosecha. Santafé de Bogota : SENA, 1995. 84 p.
16. Gobantes, I. y Gómez, R. Envasado de alimentos.Aspectos técnicos del envasado al vacío.y bajo atmósfera protectora [online]. En: Alimentación equipos y tecnología. Vol. 20, No. 1 (2001); p. 75-84. [Citado 02 de mayo de 2008]. URL disponible en <<http://www.alcion.es/DOWNLOAD/ArticulosPDF/al/gratis/18articulo.pdf>>
17. VANALCOCHA, A. y REQUENA, J. Procesos de conservación de los alimentos. España : Mundi-prensa, 1999. p 76-83.
18. KADER, A. et al. Modified atmosphere parking of fruit and vegetables. In: Critical reviews in food science and nutrition. Vol. 28, No. 1 (1999); p. 1-30.
19. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL EMPAQUE. Fundación Intal. Documento de trabajo sobre atmósferma modificada de Renato Restrepo Digiamarco. Medellín : El centro, 2005.