

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS 2014-2015



**OPTIMIZACIÓN DE UN ENVASE PARA FRUTA (MELÓN, SANDÍA, PIÑA)
MÍNIMAMENTE PROCESADA**

TRABAJO FIN DE GRADO

Alumna: BELÉN LLORCA MASCARELL

Directoras académicas:

Dra. M^a Dolores Ortolá Ortolá

Dra. Marisa Castelló Gómez

Valencia, Septiembre de 2015

RESUMEN

Debido a los cambios en la sociedad, actualmente existe una tendencia creciente hacia el consumo de productos hortofrutícolas mínimamente procesados listos para el consumo. En estos productos se persigue mantener las características nutricionales, sensoriales y organolépticas de las frutas o hortalizas frescas. A su vez, deben ser seguros a nivel microbiológico. No obstante, los productos mínimamente procesados presentan una vida útil corta que limita su comercialización.

El envasado en atmósferas modificadas es la técnica más habitual para alargar la vida útil de estos productos, consistiendo en envasar el producto en un material polimérico para crear una atmósfera interna de equilibrio, donde las bajas concentraciones de O_2 y las altas concentraciones de CO_2 ralentizarán la actividad metabólica y el crecimiento microbiano.

Este trabajo constituye una parte de la investigación llevada a cabo a través de un convenio con una empresa comercializadora de frutas. La empresa quiere comercializar sandía, melón y piña mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada. En este formato espera aumentarse las cuotas de venta, fundamentalmente hacia determinados sectores de la población, en los que por su tamaño y las dificultades de pelado, está más restringido el consumo. Los formatos que se evalúan en este trabajo son troceados, medias piezas (piña y melón) y cuartos de pieza (sandía).

Se han determinado las tasas respiratorias de las distintas frutas (piña, melón y sandía) a diferentes temperaturas de conservación (4, 8 y 27°C) y los distintos formatos de corte (troceado, medias piezas y cuartos de pieza). Las tasas respiratorias, tanto en términos de consumo de O_2 como de emisión de CO_2 aumentaron con la temperatura ajustándose a un modelo de Arrhenius. Las tasas respiratorias de la fruta troceada fueron superiores a las de las medias piezas como consecuencia del estrés provocado por el corte en la fruta.

Conocidas las tasas respiratorias se ha determinado para cada fruta y tipo de envasado el material microperforado idóneo para mantener una atmósfera de equilibrio.

Se llevaron a cabo unas primeras pruebas con fruta envasada con el mismo número de microperforaciones en todos los envases y conservada a 8°C. La atmósfera en el espacio de cabeza varió con el tiempo, no alcanzándose en ningún caso la atmósfera de equilibrio deseada. Con ello se ha puesto de manifiesto que cada fruta y tipo de corte requiere un envase específico.

Palabras clave: melón, sandía, piña, atmósfera modificada, microperforaciones.

ABSTRACT

Nowadays there is a rising trend towards the consumption of minimally processed products ready for eating due to society changes. The aim of these products is to keep the nutritional, sensory and organoleptic quality of the fruit or of the fresh vegetables. Simultaneously, any minimally processed product should be safe from the microbiological point of view. However, minimally processed products have a limited shelf life which constraints its commercialization.

Altered atmosphere packaging is the most widely used technique to extend the useful life of these products. It consists in packaging the product with polymeric material, which produces an internal atmosphere equilibrium, where the low O₂ concentrations and the high CO₂ concentrations will slow down the metabolic activity and the microbial growth.

This study represents a part of the investigation performed with a company which markets with fruits. The company wants to commercialize watermelon, melon and minimally processed pineapple packed in a modified atmosphere. The goal expected is to increase the sales quotas, mostly the ones headed to some sections of the society where it is reduced the consumption because of the size of the fruit and the problem in peeling them. The variety of products assessed in this study are the quartering, the half pieces (melon and pineapple) and the quarter pieces (watermelon).

There have been designated the different respiratory rates in fruits (watermelon, melon and pineapple) at a different temperatures of preservation (4, 8 y 27°C) and the distinct way of cutting (quartering, half pieces and quarter pieces). Respiratory rates, in terms of consumption of O₂ and in terms of emission of CO₂ enhanced with the temperature suiting to Arrhenius model.

of the quartered fruit are higher than the ones of the half pieces fruits due to the fact of the strain caused by the fruit cut.

Once known the respiratory rates we can determine for each fruit and for each kind of packaging the suitable micro perforated material for keeping an equilibrated atmosphere.

There were a first tests with packed fruit with the same number of micro perforations in all the containers and stored at a temperature of 8 °C. The atmosphere in the head space changed with time, without reaching in any case the atmosphere desired. Which lead us to assume that is fruit and kind of cut requires a particular pack.

Key words: Watermelon, melón, pineapple,

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.INTRODUCCIÓN

I.1.JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL ESTUDIO	1
I.2.CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA	1
I.2.1.Sandía	1
I.2.2.Piña	2
I.2.3.Melón	3
I.3.PRODUCTOS PROCESADO EN FRESCO (4º GAMA)	5
I.3.1.Respiración de los productos cortados	6

II.OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

II.1.OBJETIVOS	9
II.2.PLAN DE TRABAJO	9

III.MATERIALES Y MÉTODOS

III.1.MATERIA PRIMA	10
III.2.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	10
III.3.DETERMINACIÓN DE LAS TASAS RESPIRATORIAS	10
III.4.ENVASADO DE LA FRUTA	11
III.5.DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE GASES EN EL ESPACIO DE CABEZA DE LOS ENVASES	11
III.6.CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	12
III.6.1.Sólidos solubles	12
III.6.2.pH	12
III.6.3.Acidez total titulable	12
III.6.4.Humedad	12
III.6.5.Actividad de agua	12

IV.RESULTADOS

IV.1.ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PROBLEMA	13
IV.2.DETERMINACIÓN DE TASAS RESPIRATORIAS	14
IV.3.DISEÑO DE UN ENVASE MICROPERFORADO	21
IV.4.ENVASADO DE FRUTA EN ATMÓSFERA MODIFICADA	26

V.CONCLUSIONES

VI.BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1.Características nutricionales para 100 gramos de fruta	2
Tabla I.2.Información nutricional para 100 gramos de producto	3
Tabla I.3.Información nutricional para 100 gramos de producto	4
Tabla IV.1.Fracción másica de agua (X_w), actividad de agua, Brix, acidez y densidad de la piña.	15
Tabla IV.2.Tasas respiratorias de O_2 y CO_2 y coeficientes respiratorios para diferentes frutas y temperaturas de almacenamiento	16
Tabla IV.3.Valores de la energía de activación, la constante preexponencial y coeficiente de correlación obtenidos de la ecuación de Arrhenius.	18
Tabla IV.1. Coeficientes de difusión de O_2 (D_{O_2}) y de CO_2 (D_{CO_2}) para diferentes diámetros de microporos.	22
Tabla IV.2. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para piña para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)	24
Tabla IV.3. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para sandía para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)	24
Tabla IV.4. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para melón para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV.1. Evolución de la fracción volumétrica de O ₂ (a) y CO ₂ (b) en el espacio de cabeza de barquetas conteniendo 250 g de producto.	13
Figura IV.2. Evolución de la fracción volumétrica de O ₂ (a) y CO ₂ (b) en el espacio de cabeza de barquetas conteniendo 500 g de producto	14
Figura IV.3. Evolución de gases en el espacio de cabeza en media pieza de melón almacenado a 8°C.	15
Figura IV.4. Ajustes de Arrhenius para media piña y piña troceada	18
Figura IV.5. Ajustes de Arrhenius para un cuarto de sandía.	18
Figura IV.6. Evolución de gases en el espacio de cabeza en melón troceado almacenado a 4°C.	19
Figura IV.7. Evolución de gases en el espacio de cabeza en sandía troceada almacenada a 4°C.	20
Figura IV.8. Tasas respiratorias en términos de O ₂ consumido y CO ₂ emitido en melón troceado a 4°C.	20
Figura IV.9. Tasas respiratorias en términos de O ₂ consumido y CO ₂ emitido en sandía troceada a 4°C.	20
Figura IV.10. Evolución de gases en el espacio de cabeza en encases de 250 gramos de fruta troceada almacenada a 8°C.	26
Figura IV.11. Evolución de gases en el espacio de cabeza en envases de 500 gramos de fruta troceada a 8°C	27
Figura IV.12. Evolución de gases en el espacio de cabeza en envases de medias piezas de piña y melón y envases con un cuarto de sandía almacenada	27

I.INTRODUCCIÓN

I.1.Justificación e interés del estudio

En los últimos años se ha incrementado el interés por conseguir que los productos vegetales conserven durante un tiempo más largo sus características sensoriales, nutricionales y microbiológicas que son las que determinan su calidad y vida útil. Aunque hay procesos físicos y químicos que permiten estabilizar y preservar la calidad de los alimentos, es necesario el uso de un envase adecuado en la última parte del proceso de preservación.

La nueva tendencia hacia el consumo de productos frescos y naturales, unido al menor tiempo disponible por parte de los consumidores para preparar sus alimentos, ha incrementado la demanda de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y listas para su consumo (Schlimme & Hussein et al.). Por esta razón para evitar el crecimiento de los mohos, y por consiguiente la producción de micotoxinas, se ha implantado el uso de atmósferas modificadas mediante la sustitución de la atmosfera que rodea al producto en el momento del envasado por otra especialmente diseñada para cada tipo de alimento y el termosellado final del envase, para mantener estas condiciones del envasado durante el almacenamiento. El éxito de este tratamiento no depende exclusivamente de la composición de la mezcla de gases, si no que han de tenerse en cuenta otros factores, como son la temperatura de almacenamiento, el equipo de envasado y el material de envase.

I.2.Caracterización de la fruta

I.2.1.Sandía (*Citrullus lanatus*)

La planta de este fruto es una planta herbácea anual, de la familia de las Cucurbitaceae y origen africano, con tallo vellosa, flexible, rastrero, de tres o cuatro metros de largo, hojas partidas en segmentos redondeados y de color verde oscuro y flores amarillas.

La sandía (*Citrullus Lanatus*), es un fruto grande, en pepónide, carnoso y jugoso, con numerosas semillas, casi esférico, verdoso, pulpa de color rosado o rojo- por el antioxidante licopeno-, generalmente de sabor dulce, muy apreciado por ser refrescante y rico en agua y sales. Sus semillas son ricas en vitamina E. En la tabla 1 se resumen las características nutricionales de este fruto.

Tabla I.5: Características nutricionales para 100 gramos de fruta

Calorías	30Kcal	
Lípidos	0,2 g	
	Ácido graso saturado	0 g
	Ácido graso poliinsaturado	0 g
	Ácido graso monoinsaturado	0 g
Colesterol	0 mg	
Sodio	1 mg	
Potasio	112 mg	
Glúcido	8 mg	
	Fibra alimentaria	0.4 g
	Azúcar	6 g
Proteína	0,6 g	

Además de su interés nutricional, por ser muy pobre en calorías y rica en agua es una de las frutas más valoradas en los meses estivales. Sin embargo, su gran tamaño dificulta en muchas ocasiones su compra por lo que la búsqueda de nuevas presentaciones del producto en formatos más pequeños, sin perder sus características de producto fresco, constituye actualmente un reto para la industria.

1.2.2. Piña (*Ananas Comosus*)

La planta de la piña procede de la zona tropical de Brasil, Argentina y Paraguay. Empezó a cultivarse por primera vez a finales del siglo XIX en la isla de Hawai en su variedad "Smooth Cavenne", que todavía hoy en día es la variedad más habitual que se vende. Esta planta nace sobre tierra firme, es de tipo perenne con una roseta de hojas puntiagudas de hasta 90 cm de longitud. Del centro de la roseta surge un vástago en cuyo extremo se producen las flores, que darán lugar a la infrutescencia conocida como la piña, que es en realidad una fruta múltiple.

En la actualidad se cultiva en la mayoría de países tropicales del mundo. Entre los países productores tenemos a Brasil, Tailandia, Filipinas, India, Hawai, México, Indonesia y Vietnam. Filipinas constituye el mayor exportador del mundo.

La piña, como fruto, es una fruta de una planta de la familia de las Bromeliáceas. Es un fruto climatérico. El fruto para su consumo puede estar fresco y en

conserva. Cuando el fruto está maduro, la pulpa es firme pero flexible, las hojas se pueden arrancar de un fuerte tirón y el aroma es más intenso en la parte inferior. Es una fruta con gran capacidad diurética, por lo que se recomienda para numerosas dietas adelgazantes (Tabla I.2).

Tabla I.6: Información nutricional para 100 gr de producto

Calorías	50,76 Kcal
Grasas	0,40 g
Colesterol	0 mg
Sodio	2,10 mg
Carbohidratos	10,40 gr
Fibra	1,90 g
Azúcares	10,40 g
Proteínas	0,44g
Vitamina A	6,13 ug
Vitamina C	14,99 ug
Vitamina B	120ug
Calcio	14,50 mg
Hierro	0,41 mg
Vitamina B	30,39 mg

La piña fresca, aunque no es una fruta de tamaño excesivamente grande, los cambios demográficos, con unidades familiares más pequeñas, en muchos casos dificulta también su comercialización. Además, por las características de su piel no es un producto fácil de consumir fuera del hogar, por lo que la posible comercialización como producto fresco pelado y troceado puede constituir una interesante vía de aumentar su consumo.

1.2.3.Melón (*Cucumis melo L.*)

La planta del melón es una planta herbácea anual, de la familia de las Cucurbitáceas, con tallos tendidos, ramosos, ásperos, con zarcillos, y de tres a cuatro metros de longitud, hojas pecioladas, partidas en cinco lóbulos obtusos y flores solitarias de corola amarilla.

El melón es un fruto de la familia de las bayas de temporada veraniega con un alto contenido de agua en su composición (80%) y de sabor dulce.

Debido a su alto contenido en agua, se recomienda en las dietas de adelgazamiento. Esta fruta previene el estreñimiento debido a la cantidad de fibra que contiene. Además, es una fruta con pocas calorías aunque con un alto contenido en

potasio. En su composición también contiene beta-caroteno que es un antioxidante (Tabla I.3).

Entre los beneficios que contiene, podemos destacar la vitamina A, que como sabemos ayuda a las personas que sufren de sequedad en las mucosas y en la piel.

También cuenta con vitamina E, una sustancia sumamente antioxidante y protectora que ayuda a prevenir el cáncer y la aparición de enfermedades cardiovasculares.

El melón se cultiva prácticamente en todos los lugares del mundo que posean un clima cálido. Los principales productores mundiales son China, Irán y España. El melón constituye una de las frutas más consumidas ya que ocupa el cuarto lugar entre las frutas consumidas en todo el mundo.

Tabla I. 7: Información nutricional para 100 gramos de producto

Energía	52,43 kcal
Proteínas	0,60 g
Grasa	0,10 g
Hidratos de carbono	13,10 g
Colesterol	0,00 mg
Fibra	0,75 g
Vitamina B1	0,05 mg
Vitamina B2	0,01
Vitamina B6	0,06 mg
Vitamina B12	0,00 µg
Vitamina C	32,10 mg
Ácido fólico	2,70 µg
Vitamina B3	0,58 mg
Vitamina A	3 µg

El principal país productor de melón es China, con 11.333.747 toneladas de melón producidas en el año 2010, seguido por Irán, Turquía, Egipto, Estados Unidos e India. España ocupa el séptimo lugar en la lista de productores de melón del año 2010,

según datos oficiales de la FAO, con una producción total de 926.700 toneladas (FAO, 2012).

Según el anuario de estadística del año 2010 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, las comunidades autónomas con mayor producción de melón en el año 2009 fueron Castilla la Mancha, seguida de Andalucía, Región de Murcia y Extremadura, ocupando la Comunidad Valenciana el quinto lugar (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012).

La gran producción de melón, sus características nutricionales, junto con el tamaño que tienen algunas de sus variedades como es la de “Piel de Sapo”, plantea la diversificación de este producto en otras formas comerciales que faciliten el consumo y se adapten a las nuevas unidades familiares.

I.3.Productos procesados en fresco (4ª gama)

Los hábitos de alimentación humana han cambiado mucho en las dos últimas décadas. El actual ritmo de vida, con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y listos para su consumo, como son los mínimamente procesados en fresco (MPF), denominados comercialmente Productos de Cuarta gama. Así, la oferta de productos MPF ha aumentado notablemente en los países industrializados, siendo muy competitivos y aportando nuevos productos y desarrollando nuevas tecnologías emergentes y sostenibles para garantizar la calidad sensorial y nutritiva y la seguridad alimentaria.

Los productos mínimamente procesados, también llamadas listos para usar, productos frescos cortados o productos IV de gama, son frutas, verduras y hortalizas frescas que han sido lavadas, peladas, cortadas en rodajas, picadas o cortadas en tiras, antes de ser envasadas para su consumo (Barry-Ryan y O’Beirne, 1998; Degl’Innocenti et al. 2007). Dado que la principal característica de un producto de cuarta gama es conservar las características de alimento fresco, sólo se permite la aplicación de un número reducido de tratamientos, tales como lavado, troceado y envasado. Sin embargo, el principal problema que conlleva este tipo de productos, es el rápido deterioro comparado con el de la pieza intacta. Los cambios en la textura y la apariencia de los productos frescos cortados son dos factores fundamentales que van a determinar su aceptabilidad (Toivonen y Brummel, 2008). De igual importancia es evitar el desarrollo de aromas y sabores extraños, así como asegurar la estabilidad microbiológica de los mismos.

Por tanto, para obtener productos de calidad, seguros y con un alto valor nutricional, las industrias necesitan implementar estrategias de mejora, introduciendo o combinando técnicas, especialmente en los procedimientos estándar de sanidad (Artés et al., 2009).

Las técnicas más empleadas para alargar la vida útil de los productos de 4ª gama son la conservación a bajas temperaturas y el uso de atmósferas modificadas. Este tipo de productos no pueden ser sometidos a tratamientos térmicos ni incorporar ningún tipo de aditivo ni conservante. Exigen como requisito básico el mantenimiento de la cadena de frío para su perfecta conservación y tiene una fecha de caducidad que ronda de los 7 a los 10 días, pasada esta fecha de caducidad no es recomendable su consumo (www.fehrcarem.es/los-productos-de-cuarta-gama-una-tendencia-al-alza).

Los productos hortofrutícolas de cuarta gama ofrecen diversas ventajas al consumidor como son: reducción del tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante, facilidad de acceso a productos saludables, facilidad de almacenamiento ya que requieren menos espacio, reducción del manejo y de las pérdidas.

En la cuarta gama los consumidores encuentran un producto de conveniencia, con buen sabor y saludable. Es por ello que el cuidado en el procesado de frutas y hortalizas frescas para mantener un buen aspecto, aroma y sabor es un punto especialmente importante.

I.3.1.Respiración de los productos cortados

El metabolismo respiratorio permite la producción de energía necesaria para los procesos bioquímicos de las plantas. La respiración aerobia implica la oxidación de estas reservas orgánicas (carbohidratos, lípidos y ácidos orgánicos) a otras más simples, la formación de agua y CO₂ así como la liberación de energía (Fonseca et al., 2002). La respiración está relacionada con la producción de energía y de moléculas intermedias que permiten el mantenimiento de múltiples reacciones anabólicas intermedias que son esenciales para el mantenimiento de la organización celular e integridad de las membranas de las células vivas. Además el proceso global de la respiración aeróbica implica la regeneración de trifosfato de adenosina (ATP) a partir de difosfato de adenosina (ADP) y fosfato inorgánico (Pi) (Salveit, 2002).

La glicólisis, el ciclo de los ácidos tricarbóxicos, y el sistema de la cadena de transporte de electrones son rutas de la respiración aeróbica (Fonseca et al., 2002).

La respiración metabólica postcosecha de los productos frescos depende de la temperatura de almacenamiento así como de la composición de gases y etileno.

La intensidad respiratoria aumenta con el procesado de la fruta. El estrés físico estimula la intensidad respiratoria de los productos frescos. Watada et al. (1996) compararon las tasas respiratorias de los productos intactos y recién cortados de varias frutas y verduras, a diferentes temperaturas. Las tasas de respiración obtenidas en los productos frescos cortados fueron en general mayores a las de las piezas intactas y además se incrementaron con la temperatura.

Por otro lado, daños en las células y tejidos inducen una elevada tasa de producción de etileno, lo que podría estimular la respiración y consecuentemente acelerar el deterioro y la senescencia y promover la maduración de las frutas climatéricas (Brenct, 1995). Además, existe en general una relación inversa entre las tasas respiratorias y la vida postcosecha de los productos. A mayor tasa de respiración, más perecedero es el producto y por tanto, una vida postcosecha menor (Kader y Saltveit, 2002).

Por tanto, el conocimiento de la pauta respiratoria de los productos hortofrutícolas en función de los procesos a los que hayan sido sometidos, será de gran ayuda para elegir las condiciones de almacenamiento, envasado y distribución adecuadas para prolongar la vida útil.

El envasado en atmósfera modificada (MAP) es una de las técnicas más utilizadas en la conservación de los productos mínimamente procesados. Se define como el envasado en un material polimérico donde se modifican las concentraciones de gases (O_2 y CO_2) dentro del envase. Las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de ser recolectadas y esta respiración se ve incrementada por las operaciones de pelado y cortado. En consecuencia, cualquier envasado debe tener en cuenta esta actividad respiratoria.

Este tipo de envasado implica cambios gaseosos en el espacio de cabeza del envase durante el almacenamiento, debido a la respiración del producto y la permeabilidad del envase a los gases. El MAP reduce la tasa de respiración y la producción de etileno, retrasa el ablandamiento y los cambios que se producen en el producto, ya que crea y mantiene una microatmósfera óptima en el interior del envase (Lee et al, 1991). Este tipo de envasado difiere de la atmósfera controlada (AC), ya que en la primera no se produce un control externo en la concentración de gases que rodea al producto sino que depende del equilibrio dinámico entre el metabolismo del fruto y la permeabilidad del envase (Romojaro et al., 1996).

Factores que influyen en la atmósfera de equilibrio son la intensidad respiratoria del fruto (existen variaciones entre especies, variedades y el estado de madurez), temperatura (la intensidad respiratoria aumenta en función directa con la temperatura) y la permeabilidad del film (Romojaro et al., 1996).

El crecimiento microbiano en los alimentos depende tanto de factores intrínsecos del propio alimento como extrínsecos asociados con el ambiente de almacenamiento. La temperatura y la composición gaseosa asociados con el ambiente de almacenamiento. La temperatura y la composición gaseosa del ambiente son dos factores extrínsecos muy importantes que pueden ser controlados con el MAP para retrasar el deterioro y aumentar la vida útil (Parry, 1993).

El envasado en atmósfera modificada es un proceso dinámico en el que el envase cerrado y el producto envasado interactúan entre sí haciendo que la atmósfera gaseosa interna alcance un equilibrio adecuado que reduzca la velocidad de respiración, la sensibilidad al etileno y la pérdida de humedad, así como el incremento en el tiempo en el desarrollo de microorganismos. Con el envasado en atmósferas modificadas de vegetales se pretende crear un equilibrio dinámico entre el metabolismo del fruto y la permeabilidad del film utilizado.

Mediante el envasado de los alimentos en atmósfera modificada, es posible mantener la máxima calidad y ampliar la conservación de los productos ya que:

- Se disminuye la intensidad de respiración retrasando la maduración.
- Se disminuye la producción y sensibilidad al etileno.
- Se reduce la actividad metabólica de los vegetales.
- Estabilización del color ya que se minimizan la degradación de la clorofila y los pardeamientos enzimáticos.
- Se preserva el contenido vitamínico y el contenido de azúcares.
- Se disminuyen los daños por frío

II.OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

II.1.Objetivo

El objetivo del presente trabajo se enmarca en un convenio de colaboración entre el Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD) y una empresa valenciana cuya actividad es la de comercialización de fruta fresca de alta calidad (gourmet).

Entre las frutas que comercializa esta empresa se encuentra la sandía, la piña y el melón. La empresa se ha planteado la comercialización de estas tres frutas, además de como fruta entera, en formatos de menor tamaño (fruta pelada y troceada y medias piezas en el caso del melón y la piña y cuartos de pieza en el caso de la sandía). Para este tipo de formatos debe recurrir al envasado en atmósfera modificada, sin embargo, sus experiencias en este tipo de envasado no han sido totalmente exitosas por la falta de estudios preliminares sobre la actividad metabólica de las mismas y las condiciones óptimas de equilibrio en el envase.

Por este motivo, se plantea el siguiente trabajo con el objetivo de evaluar la actividad metabólica de estas tres frutas (piña, melón y sandía) en función de la temperatura de almacenamiento y el nivel de cortado para optimizar las condiciones de envasado en atmosfera modificada.

II.2.Plan de trabajo

Para llevar a cabo el objetivo del trabajo se plantea el siguiente plan de trabajo:

1. Estudio preliminar del envasado que actualmente lleva a cabo la empresa
 - a. Envasado de la fruta en las condiciones iniciales
 - b. Análisis de la evolución de la atmosfera en el interior del envase en las condiciones de almacenamiento habituales en los lineales de los puntos de venta (8°C)
 - c. Identificación de posibles problemas en el envasado
2. Análisis de tasas respiratorias de las frutas en función de la temperatura de almacenamiento (4, 8 y 27°C) y el nivel de corte (troceado y medias piezas o cuartos)
3. Cálculo de envases microperforados adecuados para cada fruta y condiciones de almacenamiento
4. Pruebas preliminares del envasado de fruta en los materiales optimizados

III.MATERIALES Y MÉTODOS

III.1.Materia prima

La materia prima utilizada en el trabajo fue:

-Piña (*Ananas Comosus*) de la variedad Gold Extra Sweet, procedente de Costa Rica.

- Melón (*Cucumin melo L.*) de la variedad Piel de Sapo procedente de la Comunidad Valenciana

- Sandía (*Citrullus lanatus*) de la variedad Imperial procedente de la Comunidad Valenciana.

Los frutos fueron proporcionados por la empresa a la cual se le realizó el estudio. Todas las piezas de frutas enteras antes de ser procesadas se almacenaron en refrigeración a 4 o 8º C.

III.2.Preparación de la muestra

Las piezas de fruta fueron cortadas según la experiencia que se iba a realizar.

- Fruta cortada: la fruta se cortó en porciones longitudinales y se peló en todos los casos. De las porciones se obtuvieron trozos de fruta de aproximadamente 2 cm. El tamaño de los trozos se ajustó a los requerimientos de la empresa.

- Medias piezas: el melón y la piña, sin pelar, se cortó longitudinalmente en dos mitades, tal y como requería la empresa.

- Cuartos de pieza: la sandía, sin pelar, se cortó longitudinalmente en cuatro piezas, tal y como requería la empresa.

III.3.Determinación de las tasas respiratorias

Se eligió un sistema estático para determinar la tasa respiratoria de la fruta.

En este caso la tasa respiratoria se determina colocando el producto en un recipiente impermeable (bote de vidrio). Se utilizaron diferentes recipientes dependiendo del tamaño de muestra. Para fruta troceada se utilizaron envases de vidrio de 1000 mL, para las medias piezas de melón y cuartos de sandía de 4500 mL y para las medias piezas de piña de 3000 mL. Todos los botes se cerraron herméticamente y se mantuvieron a las diferentes temperaturas del ensayo (4, 8 y 27ºC).

En la tapa de los recipientes de vidrio se colocó un septum a través del cual se evaluaron los cambios en la composición de la atmosfera interna. Diariamente se analizó el contenido en O₂ y CO₂ con un analizador de gases (CheckMate II PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca).

Los análisis se llevaron a cabo durante un tiempo suficiente para que la concentración de O₂ en el espacio de cabeza fuera cercana al 0%. Así, para la temperatura de 4°C, los análisis se llevaron a cabo diariamente hasta un total de 31 días, a 8°C un total de 12 días y a 27°C un total de 3 días.

Las medidas se efectuaron por triplicado para cada tratamiento.

III.4.Envasado de la fruta

La fruta se envasó en los recipientes de material polimérico (polipropileno) que utiliza la empresa. Los formatos de estos envases fueron:

- Barquetas rectangulares de 16x13x4,6 cm con un volumen total de 540 mL. En estas barquetas se pesaron 250 g de fruta troceada.

- Barquetas redondas de 16,5 cm de diámetro y una altura de 7 cm, con un volumen total de 1030 mL donde se introdujeron 500 g de fruta troceada.

- Barquetas rectangulares de 26x16x8,1 cm con un volumen de 2118 mL donde se colocaron las medias piezas de melón y piña con aproximadamente 1000 g de peso.

- Barquetas rectangulares de 26x16x9,9 cm con un volumen de 2548 mL para los cuartos de sandía de aproximadamente 700 g.

De todos los formatos se envasaron tres barquetas por cada fruta con el fin de disponer de datos por triplicado.

III.5.Determinación de la evolución de gases en el espacio de cabeza de los envases

La fruta fue cortada en la empresa a temperatura de 8°C y envasada en los diferentes formatos anteriormente comentados con una mezcla de gases conteniendo 8% de O₂, 8% de CO₂ y 84% de N₂. Inmediatamente después de ser envasada se trajo al laboratorio en contenedores termostatados. En el IUIAD se colocó un septum en cada uno de los envases y se mantuvieron a 8°C. Diariamente se determinó la concentración de gases en el interior de los envases utilizando un medidor de gases CheckMate II PBI Dansensor (Ringsted, Dinamarca).

III.6.Caracterización de la materia prima

III.6.1.Sólidos solubles

Para determinar el contenido de sólidos solubles de la fracción líquida del producto se realizó previamente una homogenización de la muestra en un “Ultraturax” modelo T 25. A continuación se determinaron los °Brix de la fase líquida con ayuda de una pipeta Pasteur de punta capilar para cada muestra, empleando un refractómetro “Abbe Atago 89553” de “Zeis”, termostatado a 20 °C.

III.6.2.pH

Se determinó directamente sobre la muestra triturada y homogeneizada con un pH-metro (Seven Easy, Mettler Toledo), con electro de contacto. Previamente el equipo fue calibrado con soluciones tampón de pH 7,00 y 4,00 a una temperatura de 25 °C.

III.6.3. Acidez total titulable

El contenido en ácidos de la fruta se analizó por valoración utilizando un valorador automático Metrohm Titrator. El fundamento de este equipo es la neutralización de los ácidos por medio de una solución valorada, 0,1 N de NaOH. La medida se realiza mediante un electrodo de contacto. Los resultados se expresaron como g de ácido cítrico/100 g fruta.

III.6.4. Humedad

Para la determinación de la humedad se siguió una adaptación del método 934.06 (AOAC, 2000) para frutas ricas en azúcar. Este método se basa en la determinación de la pérdida de peso de una muestra cuando se coloca en una estufa de vacío a una temperatura constante de 60 °C y a una presión de 10 mmHg, permaneciendo hasta alcanzar un peso constante.

La variación de peso, antes y después del secado en estufa, referida al peso inicial de la muestra proporciona la humedad de la misma (g agua/g muestra)

III.6.5. Actividad de agua

Las determinaciones de actividad del agua (a_w) se realizaron a 25°C en un higrómetro de punto de rocío (Fast-lab, GBX, Francia) de precisión $\pm 0,003$, previamente calibrado con disoluciones salinas saturadas.. Este análisis se determinó sobre las muestras trituradas y homegeneizadas en un “Ultraturax” modelo T 25.

IV.RESULTADOS

IV.1. Análisis preliminar del problema

Tal y como se ha comentado en el apartado Objetivos, la empresa ha empezado a comercializar las tres frutas objeto de este trabajo en atmosfera modificada en diversos formatos (barquetas de fruta troceada de 250 y 500 g y barquetas con medias piezas o un cuarto de pieza en el caso de la sandía).

Su objetivo es que la fruta fresca tenga una vida útil de 6 días, lo que en principio están consiguiendo, pues organolépticamente el producto mantiene todas sus propiedades. Sin embargo, en algunos casos, el cliente observa un abombamiento del envase, lo que se traduce en devoluciones del producto y por tanto en pérdidas económicas y de fidelidad que deben ser evitadas.

Por este motivo, el primer objetivo de este trabajo fue analizar las barquetas que se están confeccionando hasta este momento para detectar las posibles causas del abombamiento.

Para ello se analizaron los cambios en la atmosfera interna del envase con el tiempo en fruta troceada y envasada en dos tipos de formatos (barquetas de 250 g y barquetas de 500 g). La fruta se mantuvo a 8°C pues es la temperatura a la que habitualmente se mantiene este tipo de productos en los lineales de los puntos de venta.

En las figuras IV.1 y IV.2 se muestra la evolución de la atmósfera del espacio de cabeza de estos productos.

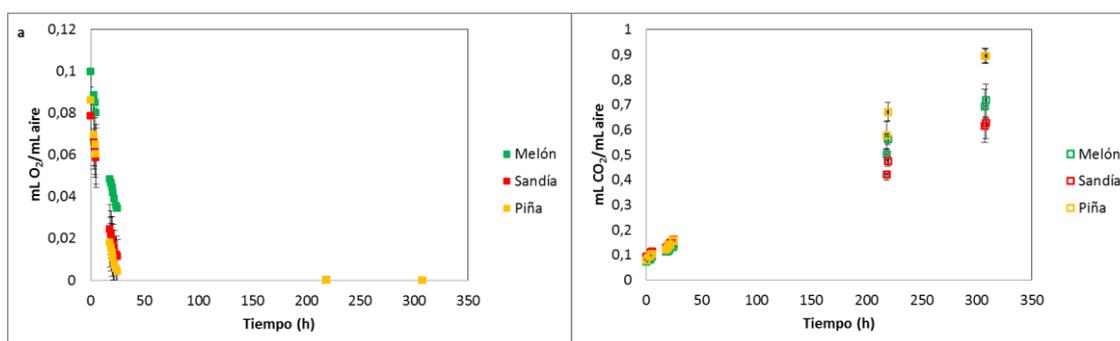


Figura IV.1: Evolución de la fracción volumétrica de O₂ (a) y CO₂ (b) en el espacio de cabeza de barquetas conteniendo 250 g de producto.

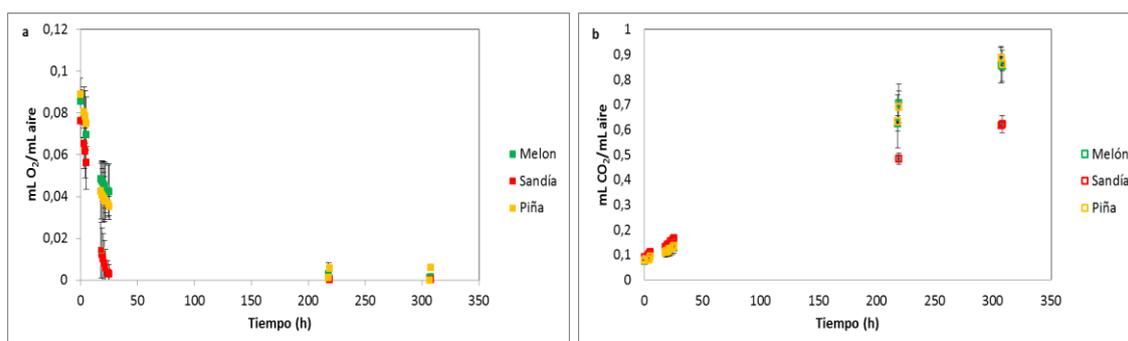


Figura IV.2: Evolución de la fracción volumétrica de O_2 (a) y CO_2 (b) en el espacio de cabeza de barquetas conteniendo 500 g de producto.

Como puede observarse, en ambos casos y para las tres frutas, el envasado inicial del producto se lleva a cabo con una mezcla de gases de entre un 8-10% de O_2 y un 10% de CO_2 . Sin embargo, en ningún caso se alcanza una atmósfera de equilibrio en el envase (concentración de gases constante), disminuyendo la concentración de O_2 y aumentando la concentración de CO_2 . Así, a partir del 4º-5º día de envasado, la concentración de O_2 está muy próxima al 0%, lo que se traducirá en un cambio en las rutas metabólicas de respiración de la fruta, pasando a respiraciones anaerobias (rutas fermentativas) con el consiguiente desarrollo de sabores y olores desagradables. Al mismo tiempo, la concentración de CO_2 aumenta de forma importante, por encima del 30% a partir del 4º-5º día de envasado. Esta acumulación de CO_2 en el interior puede afectar al metabolismo respiratorio, pues altas concentraciones de este gas resultan tóxicas a nivel celular y al mismo tiempo provocan el abombamiento del envase.

Como conclusión a este estudio preliminar se detecta que el envasado que se está realizando actualmente no es suficientemente permeable a los gases por lo que se plantea el trabajo siguiente con el objetivo de seleccionar un material de envasado con la permeabilidad adecuada al O_2 y al CO_2 que permita llegar a una atmósfera de equilibrio que mantenga las propiedades organolépticas y sensoriales del producto.

IV.2. Determinación de tasas respiratorias

Teniendo en cuenta que la fruta se va a envasar en atmósfera modificada (MAP) es importante tener en cuenta que la atmósfera interna en el envase va a depender tanto de la actividad metabólica de la misma (consumo de O_2 y emisión de CO_2) como de la permeabilidad selectiva del material a ambos gases. La atmósfera en el espacio de cabeza es modificada por el consumo y producción de gases del producto y por la salida y entrada de gases a través del film.

Por tanto, el conocimiento del consumo de O_2 y de la producción de CO_2 de la fruta a envasar resulta imprescindible para diseñar un buen envase.

Para determinar las tasas respiratorias de las distintas frutas estudiadas se utilizó un método estático, tal y como se ha comentado en el apartado Materiales y Métodos.

Toda la materia prima empleada en los ensayos fue caracterizada antes de ser envasada en los frascos de vidrio. Tal y como se muestra en la tabla IV.1, todas las piezas utilizadas tenían características muy semejantes, por lo que, sobre todo en el caso de las medias piezas se eliminaba la variable de heterogeneidad de la materia prima en las diferentes repeticiones. En los ensayos con fruta troceada en cada repetición se mezcló fruta de diferentes piezas.

Tabla IV.8: Fracción másica de agua (x_w), actividad de agua, Brix, acidez y densidad de la fruta

Producto	x_w (g agua/g fruta) q	a_w	Brix	Acidez (g cítrico/100 g fruta)	Densidad (g/cm ³)
Melón	0,895±0,005	0,9890±0,0013	9,90±0,14	1,29±0,02	1,003±0,015
Sandía	0,897±0,014	0,9852±0,0004	9,20±0,00	0,86±0,01	0,99±0,05
Piña	0,860±0,005	0,9842±0,0011	13,2±0,0	8,18±0,02	0,99±0,02

En la figura IV.3 se muestra un ejemplo de la evolución con el tiempo de la concentración de gases en el espacio de cabeza en los envases impermeables. En la mayoría de los casos (todos excepto en el caso del melón y la piña troceados a 4°C), se observa un comportamiento metabólico donde la velocidad de consumo de O₂ se mantiene constante con el tiempo. De igual forma, la velocidad de emisión de CO₂ es constante con el tiempo.

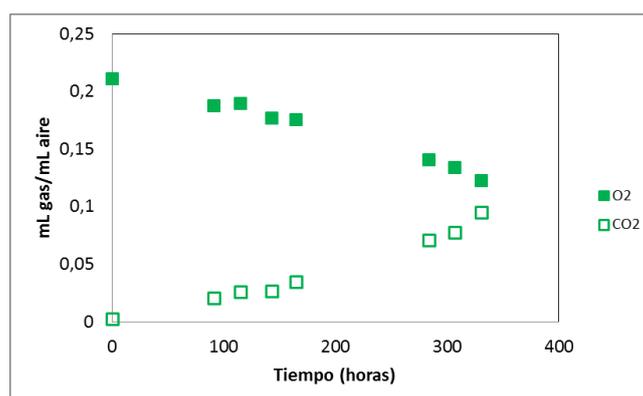


Figura IV.3: Evolución de gases en el espacio de cabeza en media pieza de melón almacenado a 8°C

Tanto la emisión de CO₂ como el consumo de O₂ pueden ser utilizados para determinar la tasa de respiración de las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2000). La tasa respiratoria se define como la cantidad de anhídrido carbónico emitido y de oxígeno consumido por kg de fruta y por hora (Fonseca, et al., 2002).

Conociendo la variación con el tiempo de la concentración de gas en el espacio de cabeza puede calcularse la tasa respiratoria, TR_i (mL i /kg h) según la ecuación IV.1 (Kays, 1991) :

$$TR_i = \frac{d[G_i]}{dt} \cdot \frac{V_a}{M} \quad \text{Ec. IV.1}$$

siendo:

$d[G_i]/dt$: variación de la concentración del gas i (O_2 o CO_2) en un tiempo t (mL i /mL aire h)

M : masa de la muestra (kg)

V_a : volumen de aire en el espacio de cabeza del frasco de vidrio (mL aire)

Si la TR no varía con el tiempo y por tanto con la concentración de gases en el espacio de cabeza, ésta puede calcularse aplicando la ecuación IV.1, siendo $d[G_{O_2}]/dt$ y $d[G_{CO_2}]/dt$, la pendiente del ajuste lineal de la variación de la concentración del gas (O_2 o CO_2) con el tiempo.

La tabla IV.2 muestra las tasas respiratorias calculadas a partir de este modelo para las frutas analizadas a diferentes temperaturas, así como el coeficiente respiratorio (CR), definido como el cociente entre el CO_2 emitido y el O_2 consumido.

Tabla IV.9. Tasas respiratorias de O_2 y CO_2 y coeficiente respiratorio para diferentes frutas y temperaturas de almacenamiento

Producto	T (°C)	TR O_2 (mL O_2 kg ⁻¹ h ⁻¹)	TR CO_2 (mL CO_2 kg ⁻¹ h ⁻¹)	CR
Piña 1/2	4	1,0 ± 0,9	1,1 ± 0,9	1,06
	8	0,53 ± 0,05	0,79 ± 0,08	1,50
	27	40 ± 15	60 ± 22	1,5
Piña troceada	4	0,74 ± 0,15	0,74 ± 0,15	1,0
	8	2,0 ± 0,2	2,3 ± 0,4	1,15
	27	18,2 ± 0,9	22,3 ± 0,7	1,23
Sandía 1/4	4	1,5 ± 0,5	1,3 ± 0,5	0,86
	8	1,87 ± 0,15	1,87 ± 0,15	1
	27	26 ± 2	20 ± 4	0,75
Sandía troceada	4	-	-	-
	8	2,24 ± 0,04	2,56 ± 0,04	1,14
	27	28,5 ± 1,5	30,4 ± 1,3	1,07
Melón 1/2	4	-	-	-
	8	5 ± 2	5 ± 2	1,00
	27	28 ± 2	28 ± 3	0,98

	4	-	-	-
Melón troceado	8	1,5 ± 0,3	1,50 ± 0,25	1
	27	17,8 ± 1,4	19,5 ± 1,5	1,09

Se realizó un análisis de la varianza para determinar el efecto de la temperatura y del tipo de corte sobre las tasas respiratorias calculadas. En todos los casos existe una diferencia significativa ($p < 0,001$) por efecto de la temperatura de almacenamiento, siendo las tasas respiratorias tanto para el O_2 como para el CO_2 superiores a 27°C. Entre 4 y 8°C no se observan diferencias significativas.

Excepto en el caso de la piña a 4°C, el tipo de corte tuvo un efecto significativo ($p < 0,001$) sobre la tasa respiratoria, aumentando esta con el grado de cortado. El corte parece producir un estrés a la fruta que se traduce en un aumento en la emisión de CO_2 y consumo de O_2 . En el melón, las TR en términos de O_2 para medias piezas de melón son mayores que para el melón troceado. Este comportamiento no es habitual en frutas, donde a mayores niveles de corte aumentan las tasas respiratorias. Probablemente, en este caso, la presencia de la piel en las medias piezas esté contribuyendo al aumento de la concentración de CO_2 y a la disminución de O_2 en el espacio de cabeza por su propia respiración.

El cociente respiratorio (CR) es una herramienta para determinar la naturaleza del sustrato utilizado en la respiración. Los resultados obtenidos en todos los casos muestran un CR cercano a la unidad, lo que indica que se está utilizando como sustrato carbohidratos. Coeficientes respiratorios mayores de 1,7 indicarían respiraciones anaeróbicas pues el metabolismo fermentativo implica la descarboxilación del piruvato con formación de CO_2 sin consumo de O_2 .

Como puede observarse, la temperatura es uno de los factores externos que más influencia tiene sobre las tasas respiratorias de frutas. Así, es conocido que la velocidad de las reacciones biológicas generalmente aumenta dos o tres veces cuando la temperatura aumenta 10°C. En las frutas estudiadas, incrementos en la temperatura generan incrementos exponenciales de la respiración. Por esta razón, la modelización de tipo Arrhenius se suele ajustar bien al comportamiento de las frutas almacenadas a distintas temperaturas (Fonseca et al., 2002). Por este motivo, la relación de la tasa respiratoria con la temperatura se estimó a través del modelo de Arrhenius (ecuación IV.2):

$$TR = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \text{Ec. IV.2}$$

donde: A es el factor preexponencial o factor de frecuencia, E_a es la energía de activación, R es la constante de los gases ideales y T es la temperatura absoluta en grados kelvin.

Esta ecuación IV.2 se puede transformar en su forma linealizada, obteniendo la siguiente ecuación IV.3:

$$\ln TR = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{Ec. IV.3}$$

A partir de esta ecuación linealizada, se determinó la constante A y la energía de activación para las frutas y tipos de corte en las cuales se disponía de valores de TR a las tres temperaturas (Figuras IV.4 y IV.5).

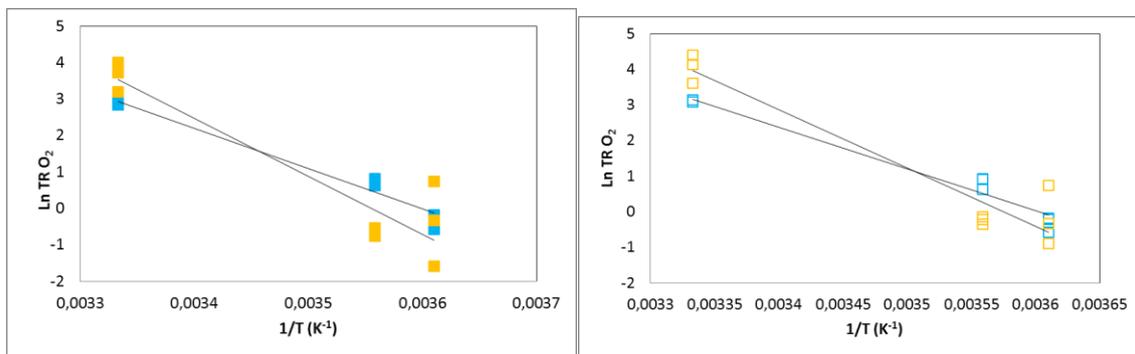


Figura IV.4. Ajustes de Arrhenius para un media piña (■) y piña troceada (■)

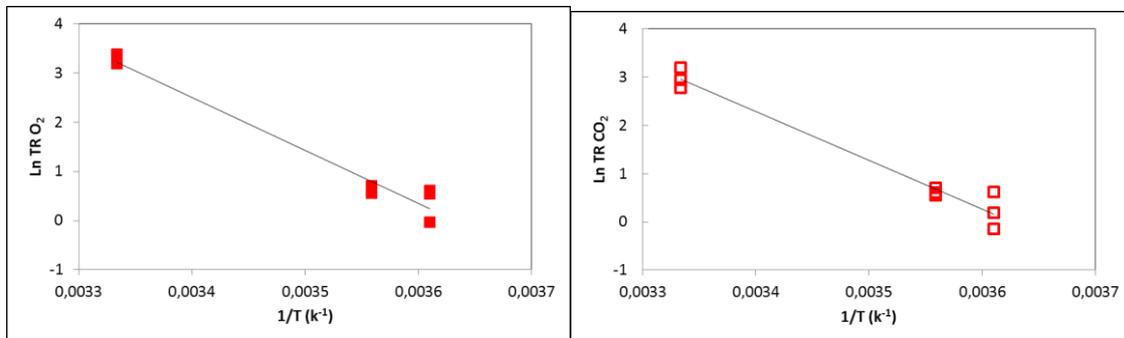


Figura IV.5. Ajustes de Arrhenius para un cuarto de sandía

Tabla IV.10. Valores de la energía de activación, la constante preexponencial y coeficiente de correlación obtenidos de la ecuación de Arrhenius.

Producto	TR _{O2}			TR _{CO2}		
	E_a (kJ·mol ⁻¹)	A (mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	R ²	EA	A (mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	R ²
Piña troceada	92105	2E ⁺¹⁷	0,97	97185	1,97E ⁺¹⁸	0,96
Piña 1/4	132297,14	3,7E ⁺²⁴	0.87	136188,2	2,71E ⁺²⁵	0.92
Sandía 1/4	89794	1,1E ⁺¹⁷	0,97	83924	7,9E ⁺¹⁵	0,97

En el caso del melón troceado almacenado a 4°C se observó un comportamiento respiratorio diferente de los anteriores casos (Figura IV.6). Como puede observarse, a tiempos largos se observa un aumento muy importante en la velocidad de consumo de O₂ y de emisión de CO₂. Este comportamiento, en principio, puede parecer anómalo dado la baja concentración de O₂ y la alta concentración de CO₂ en el espacio de cabeza, pues muchas frutas descienden su tasa respiratoria como consecuencia de estos cambios en las concentraciones de gases disponibles. Sin embargo, teniendo en cuenta el tiempo largo del análisis (más de 30 días), este cambio en las tasas respiratorias pueden ser atribuidos a comienzo de procesos fermentativos y/o desarrollo de microorganismos. De hecho, las muestras de melón con más de 30 días de almacenamiento presentaban un intenso olor a acetaldehído y etanol y mostraban síntomas de infección microbiana. Varios autores (Artes et al., 2007; Conte et al., 2009) afirman que uno de los mayores problemas del melón MAP es el desarrollo microbiano. Burdeos et al. (2009) observaron cambios en la tasa respiratoria de melón piel de sapo troceado cuando el O₂ en el espacio de cabeza se mantiene por debajo de 10-15% y el CO₂ por encima de 5-12%.

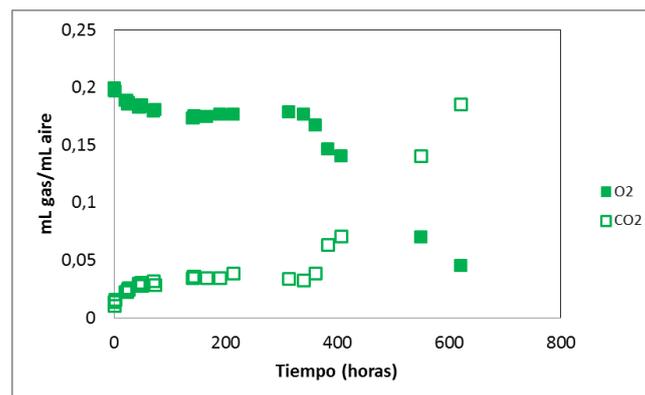


Figura IV.6. Evolución de gases en el espacio de cabeza en melón troceado almacenado a 4°C

Por este motivo, se descartaron los puntos analizados a partir de las 339 horas (15 días). Aun así, el comportamiento metabólico de esta fruta a esta temperatura difiere del resto de muestras, de igual forma que la sandía troceada. Puede observarse (Fig IV.6 y IV.7) que la velocidad de consumo de O₂ y de emisión de CO₂ desciende con el tiempo. Este cambio brusco en la tasa respiratoria que se observa a tiempos cortos podría atribuirse, no especialmente a la influencia de la concentración de gas, sino más bien al estrés generado por el corte. Este hecho ha sido observado también por otros autores y otras frutas (Aguayo 2009).

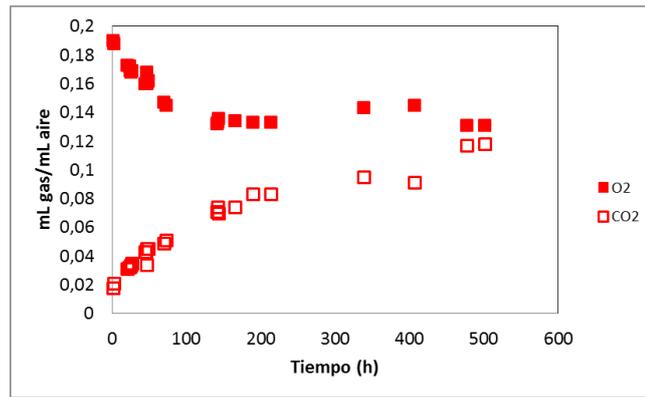


Figura IV.7. Evolución de gases en el espacio de cabeza en sandía troceada almacenada a 4°C

Como la velocidad de cambio en la concentración del gas en el espacio de cabeza varía con el tiempo ($d[G_i]/dt$), se ajustaron los datos obtenidos en cada una de las muestras de melón troceado a 4°C a ecuaciones logarítmicas. A partir del ajuste se calculó en cada punto la pendiente de la curva aplicando la primera derivada de la curva ajustada. Con el valor obtenido de la pendiente en cada punto se calculó la tasa respiratoria aplicando la ecuación IV.1.

Las Figura IV.8 y IV.9 muestran los resultados obtenidos para las tasas respiratorias en términos de O₂ consumido y CO₂ emitido en función de la fracción volumétrica de gas en el espacio de cabeza.

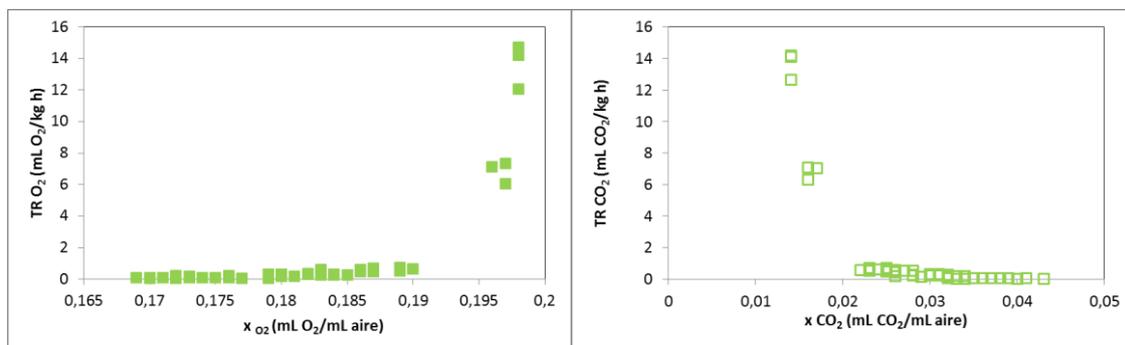


Figura IV.8. Tasas respiratorias en términos de O₂ consumido y CO₂ emitido en melón troceado a 4°C

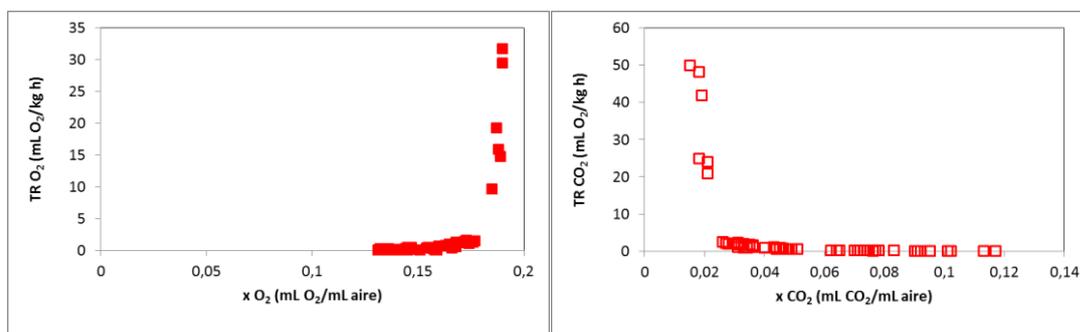


Figura IV.9. Tasas respiratorias en términos de O₂ consumido y CO₂ emitido en sandía troceada a 4°C.

IV.3. Diseño de un envase microperforado

Una vez determinadas las tasas respiratorias de las frutas con los diferentes tipos de corte y temperaturas de almacenamiento, se procedió al cálculo del material de envasado.

En una fruta envasada en un material de permeabilidad selectiva, como consecuencia de la diferencia de presiones parciales de gases entre el interior y el exterior del envase se producirá un flujo de O₂ y de CO₂ (J_{O2} y J_{CO2}). Aplicando la primera ley de Fick el flujo del componente gaseoso *i* que atravesará el film puede expresarse como:

$$J_i = -D_i \cdot A \cdot (x_i^i - x_i^e) \quad \text{Ec IV.4}$$

donde:

J_i: velocidad de flujo de gas *i* o caudal del gas *i* a través de la película (mL_ih⁻¹)

D: coeficiente de difusión del gas *i* (mL_ih⁻¹ m⁻²)

A: área de la superficie permeable (m²)

x_i: fracción volumétrica de gas en el interior (i) y exterior (e) del film (v/v)

Por otra parte, el caudal de gas generado o consumido por el producto (J_i en mL_i/h puede expresarse (ec. IV.5) a partir de la tasa respiratoria (TR_i en mL_i kg⁻¹ h⁻¹), conociendo la masa (M) del producto dentro del envase expresada en kg:

$$J_i = TR_i \cdot M \quad \text{Ec. IV.5}$$

De tal manera que cuando se alcance el régimen estacionario en el envase las ecuaciones IV.4 y IV.5 se igualan, pudiéndose obtener el coeficiente de difusión del material de envasado necesario para obtener unas determinadas concentraciones de O₂ y de CO₂ en el envase constantes (atmósfera de equilibrio).

La difusión de gases a través del material de envasado puede conseguirse de dos formas. La primera es utilizar materiales semipermeables con una permeabilidad selectiva a los gases. De esta forma, el coeficiente de difusión (D_i) es la permeabilidad del film al gas *i*.

Sin embargo, la empresa, con el fin de mantener los envases que está utilizando actualmente, prefiere optar por la segunda forma de conseguir una determinada difusividad a los gases, los envases microperforados. Además, este tipo de envases ofrece una serie de ventajas con respecto a los materiales poliméricos. Así, el

intercambio gaseoso con el entorno a través de las perforaciones es mucho más alto que en los films convencionales (Mannapperuma et al., 1989) y además, la relación entre la permeabilidad al CO₂ y al O₂ es prácticamente 1 mientras que esta relación es muy diferente en los films poliméricos, alcanzando valores de 3 a 6 (Brody, 2005). Teniendo en cuenta que los coeficientes respiratorios generalmente están cercanos a la unidad, es difícil alcanzar altas concentraciones de CO₂ utilizando films poliméricos.

Por todo ello, igualando las ecuaciones IV.4 y IV.5 se determinaron los coeficientes de difusión necesarios a través de las microperforaciones para alcanzar en el envase una atmósfera de equilibrio. Esta atmósfera se definió, según deseos de la empresa, en 2% de O₂ y un 10% de CO₂.

Para determinar la difusión de gas a través de un microporo se utilizó el modelo propuesto por Gonzalez et al. (2008) para microperforaciones en films de espesor entre 30 y 50 μm. Según este modelo, la difusión de O₂ y de CO₂ a través del microporo puede determinarse por la ecuación IV.6:

$$D_i = a_1 \cdot A_h^{a_2} \quad \text{Ec. IV.6}$$

siendo:

D_i : difusión del gas i a través del microporo (mL d⁻¹)

A_h : área de paso del gas a través del microporo (μm²)

a_1 y a_2 : constantes del modelo. $a_1 = 0,88$ y $a_2 = 0,577$ para el O₂; $a_1 = 0,83$ y $a_2 = 0,569$ para el CO₂.

En la tabla IV.4 se muestran los coeficientes de difusión calculados en función del diámetro de microporo (d):

Tabla IV.11. Coeficientes de difusión de O₂ (D_{O_2}) y de CO₂ (D_{CO_2}) para diferentes diámetros de microporos.

d poro (μm)	D _{O₂} (mL/d)	D _{CO₂} (mL/d)
30	38,8	34,7
35	46,3	41,4
40	54,0	48,1
45	61,9	55,0
50	69,9	62,1
55	78,0	69,2
60	86,3	76,4
65	94,6	83,7
70	103,1	91,0
75	111,6	98,4
80	120,3	105,9
85	129,0	113,5
90	137,8	121,1
95	146,6	128,8

100	155,6	136,6
105	164,6	144,4
110	173,7	152,2
115	182,8	160,1
120	192,0	168,1
125	201,3	176,1
130	210,6	184,1
135	220,0	192,2
140	229,4	200,3
145	238,9	208,5
150	248,4	216,7
155	258,0	224,9
160	267,6	233,2
165	277,3	241,5
170	287,0	249,8
175	296,8	258,2
180	306,6	266,6
185	316,4	275,1
190	326,3	283,5
195	336,2	292,0
200	346,2	300,6
205	356,2	309,1
210	366,3	317,7
215	376,3	326,4
220	386,5	335,0
225	396,6	343,7
230	406,8	352,4
235	417,0	361,1
240	427,3	369,9
245	437,6	378,7
250	447,9	387,5
255	458,2	396,3
260	468,6	405,2
265	479,0	414,0
270	489,5	422,9
275	500,0	431,9
280	510,5	440,8
285	521,0	449,8
290	531,6	458,8

Conocidos los coeficientes de difusión y las tasas respiratorias calculadas en el apartado anterior se determinaron, para cada fruta y tipo de envase el número de poros necesarios para alcanzar la atmósfera de equilibrio en términos de O₂ y de CO₂ (tablas IV.5, IV.6 y IV.7).

Tabla IV.12. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para piña para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)

D poro (μm)	Envase 500 g		Envase 250 g		Envase 1/2 piña	
	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}
30	3	8	2	4	2	6
35	3	7	1	3	1	5
40	2	6	1	3	1	4
45	2	5	1	3	1	4
50-60	2	4	1	2	1	3
60-70	1	4	1	4	1	2
70-80	1	3	1	1	1	2
85-95	1	2	0	1	0	2
100-130	1	2	0	1	0	1
135-150	1	1	0	1	0	1
135-185	0	1	0	1	0	1
190-245	0	1	0	0	0	1
250-290	0	1	0	0	0	0

Tabla IV.13. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para sandía para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)

D poro (μm)	Envase 500 g		Envase 250 g		Envase 1/4 sandía	
	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}
30	4	9	2	4	4	9
35	3	7	2	4	3	8
40	3	6	1	3	3	7
45	2	6	1	3	3	6
50	2	5	1	2	2	5
55-60	2	4	1	2	2	5
60-65	2	4	1	2	2	4
65-75	1	3	1	2	1	3
80-90	1	3	1	1	1	3
95-140	1	2	0	1	1	2
145-160	1	1	0	1	1	1
165-200	0	1	0	1	1	1
200-290	0	1	0	0	0	1

Tabla IV.14. Número de microporos (N_{O_2} y N_{CO_2}) necesarios en los diferentes formatos de envase para melón para alcanzar la atmósfera de equilibrio a 8°C en función del diámetro del microporo (D)

D poro (μm)	Envase 500 g		Envase 250 g		Envase 1/2 melón	
	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}	N_{O_2}	N_{CO_2}
30	2	5	1	3	19	41
35	2	4	1	2	16	35
40	2	4	1	2	14	30
45	2	2	1	2	12	26
50	1	2	1	1	11	23
55	1	2	1	1	10	21
60	1	2	1	1	9	19
65	1	2	1	1	8	17
70	1	2	0	1	7	16
75	1	2	0	1	7	15
80	1	2	0	1	6	14
85	1	2	0	1	6	13
90	1	1	0	1	5	12
95	1	1	0	1	5	11
100-105	1	1	0	1	5	10
110-115	1	1	0	1	4	9
120-130	0	1	0	1	4	8
135-150	0	1	0	0	3	7
155-160	0	1	0	0	3	6
165-175	0	1	0	0	3	6
180-210	0	1	0	0	2	5
215-230	0	1	0	0	2	4
235-260	0	0	0	0	2	4
265-275	0	0	0	0	2	3
280-290	0	0	0	0	1	3

Como puede observarse, la variabilidad en las tasas respiratorias de cada una de las frutas y el diferente peso de fruta contenida en cada envase hacen que el número de poros necesario en cada formato varíe. Además, comparando el número de poros necesario para mantener el porcentaje de O_2 en la atmósfera de equilibrio (N_{O_2}) es diferente al número de poros necesario para mantener el porcentaje de CO_2 en la atmósfera de equilibrio (N_{CO_2}). Esto es debido a la diferencia de presiones parciales entre el interior y el exterior del envase, siendo esta mucho más alta en el caso del O_2 que del CO_2 .

Por tanto, para un mismo envase deben seleccionarse un número de poros que ajuste tanto para el O_2 como al CO_2 , reajustando entonces la atmósfera interna de equilibrio.

IV.4. Envasado de fruta en atmosfera modificada

Una vez determinadas las tasas respiratorias y el número de microporos necesarios para cada una de las frutas y formatos de envase, se plantea envasar fruta en atmósfera modificada para mantenerla a 8°C, temperatura habitual en los lineales de los puntos de venta y con una vida útil de 6 días.

Dada la variabilidad en el número de microporos necesarios en cada envase, y por las dificultades técnicas que esto supone, pues las microperforaciones las tiene que realizar la empresa suministradora del film polimérico y por tanto, deberían encargarse una bobina para cada fruta y envase, la empresa decide que, para estas primeras pruebas, va a considerar un número de poros constante e igual para todos los envases.

De esta forma, para todos los formatos utiliza una lámina de doble capa de poliéster laminado con polipropileno de 62 μm de espesor a la cual se le hacen microperforaciones de 50 μm de diámetro cada 7 cm. Con esta lámina se envasa la fruta de forma que en cada envase haya 1 microporo.

Una vez envasada la fruta, se mantuvo a 8°C y se analizó diariamente la evolución de gases en el espacio de cabeza. Las figuras IV.10, IV.11 y IV.12 muestran los resultados obtenidos.

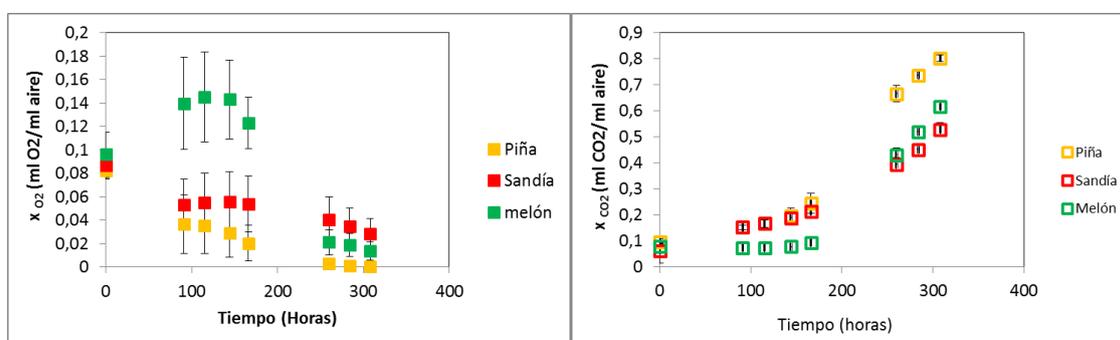


Figura IV.10. Evolución de gases en el espacio de cabeza en envases de 250 g de fruta troceada almacenada a 8°C

En el caso de los envases de 250 g, el número de microporos utilizado ($N=1$) se ajusta a los calculados para alcanzar el 2% de O_2 . Este valor de equilibrio parece alcanzarse al final del almacenamiento. Para mantener el producto en óptimas condiciones la composición de gases en el espacio de cabeza debe alcanzar el equilibrio en un tiempo lo más corto posible. Por otra parte, el envase no es suficientemente permeable al CO_2 , lo que origina una acumulación excesiva en el envase. Teniendo en cuenta estas dos circunstancias, debería aumentarse el número de microporos para facilitar la salida de CO_2 aumentando entonces la concentración de O_2 en el equilibrio.

En el caso del melón se observa un comportamiento no esperado en relación a la evolución del O_2 , pues este aumenta en los primeros días de almacenamiento, por lo que la velocidad de consumo de O_2 es menor que el flujo de gas a través del material. Quizás debería revisarse las TR calculadas en el melón y repetirse el trabajo experimental para verificar este hecho.

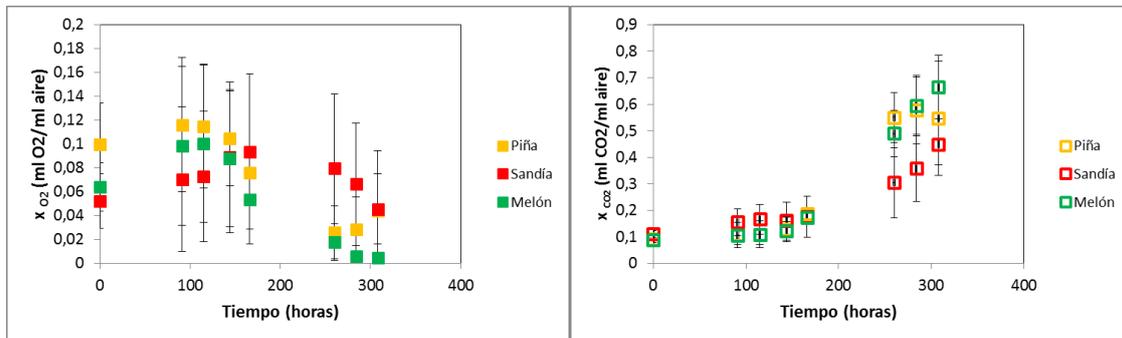


Figura IV.11. Evolución de gases en el espacio de cabeza en envases de 500 g de fruta troceada almacenada a 8°C

Para la fruta troceada envasada en formatos de 500 g se observa una gran variabilidad en los resultados. En este caso, donde el número de microporos es inferior al calculado, no se alcanza la atmósfera de equilibrio. El porcentaje de O_2 en los envases a tiempos largos alcanza valores por debajo del 2%, mientras que el CO_2 se acumula en el envase alcanzando valores del 60%. Se recomendaría en este caso aumentar el número de microporos para facilitar el intercambio gaseoso.

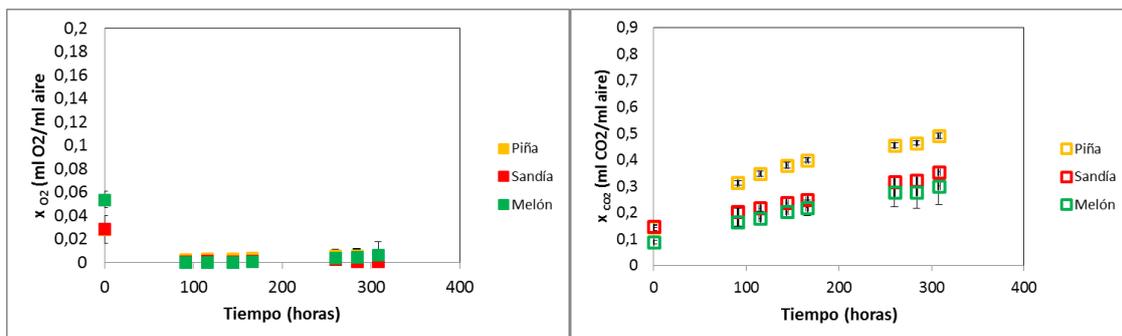


Figura IV.12. Evolución de gases en el espacio de cabeza en envases de medias piezas de piña y melón y envases con un cuarto de sandía almacenados a 8°C.

En los envases de medias o cuartos de pieza, los datos obtenidos no mostraron tanta variabilidad como en los casos anteriores, pero, tal y como cabía esperar, la concentración de O_2 disminuye por debajo del valor deseado y el CO_2 se acumula en el envase. En este caso, también el número de microporos estaba por debajo del óptimo calculado.

Por tanto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la necesidad de estudiar y ajustar para cada tipo de fruta y formato de envase el número de microperforaciones necesarias, no siendo recomendable utilizar el mismo material de envasado en todos los casos.

Se le recomendará a la empresa ajustar mejor el número de microporos en cada caso y volver a efectuar los análisis de espacio de cabeza.

V.CONCLUSIONES

1. En los ensayos preliminares se observó que el envasado que se está realizando actualmente no es suficientemente permeable a los gases, originando en el espacio de cabeza condiciones anaerobias por la falta de O_2 y la acumulación de CO_2 .
2. Las tasas respiratorias calculadas por el método estático ponen de manifiesto el aumento de la actividad metabólica a medida que aumenta la temperatura.
3. El efecto de la temperatura sobre las tasas respiratorias se ajustó a la ecuación de Arrhenius, determinándose la energía de activación y la constante cinética para cada fruta.
4. Las tasas respiratorias fueron mayores en el producto troceado que en las medias piezas. El corte parece producir un estrés a la fruta que se traduce en un aumento en la emisión de CO_2 y consumo de O_2 . Solo en el caso del melón este efecto fue contrario, probablemente por la presencia de piel en la media pieza con su correspondiente actividad metabólica.
5. Se han determinado el número de microperforaciones necesarias en el envase en función de la fruta y tipo de corte para obtener una atmósfera de equilibrio de 2% O_2 y 10% de CO_2 a una temperatura de conservación de 8°C.
6. El envasado de la fruta en material polimérico con una microperforación y el análisis del espacio de cabeza durante su conservación a 8°C pone de manifiesto la necesidad de ajustar el número de microperforaciones para cada fruta y tipo de corte.

Como conclusión final del trabajo, se recomienda envasar cada producto ajustando las microperforaciones necesarias y volver a analizar los espacios de cabeza de los envases para comprobar su efectividad y recalcular la atmósfera de equilibrio. También se recomienda el empleo de una mezcla de gases en el envasado de concentraciones cercanas a la de equilibrio para reducir el estado transitorio y llegar cuanto antes a una situación de equilibrio.

Otra posible vía de estudio puede ser la búsqueda de otros materiales poliméricos con permeabilidad selectiva al O_2 y al CO_2 óptimas para estos productos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo E., (2009) Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Tesis doctoral UPC.

Artés, F; Aguayo, E.; Silveira, A.C.; Leglise, A.; (2007). Aptitud de tres cultivares de melón tipo “galia” para su procesado en fresco. *Journal of Food Engineering*.

Azcón-Bieto, J., Talón, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Capítulo 14, pp. (217-233). Ed. MacGraw-Hill Interamerica. y Ed. Universitat de Barcelona.

Brody, A. L. (2005). What’s fresh about fresh-cut. *Food Technology*, 59(1),74–77.

Burdeos, I.; Albors, A. ; Ortolá, M.D. (2009) Modelización de la tasa respiratoria aerobia de melón a diferentes temperaturas. Tesis Fin de master. UPV.

Conte A., Scrocco C., Brescia I., Alessandro Del Nobile M. (2009) Different packaging strategies for fresh-cut ‘barattiere’ melon cultivar (*cucumis melo* L.) *International Journal of Food Science and Technology* 44, 1422–1428

FAO 2002 (Consulta agosto de 2015)

Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Frias, J.M., Brecht, J.K., Chau, K.V., (2002). Modelling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering* 54 (4), 299–307.

Francisco Artés-Calero, E. A. (2009). *Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama*.

Gil, J. R. (2003). Selección del material de envasado.(Consultado en agosto de 2015)

Gonzalez, J. Ferrer A., Oria R., Salvador M L. Determination of O₂ and CO₂ transmission rates through microperforated films for modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables *Journal of Food Engineering* 86, 194–201.

Kader, A. A. y Salveit, M. E. (2002). *Respiration and Gas Exchange. Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Second Edition.

Kays, S.J., (1991). *Metabolic processes in harvested products respiration*. Post Harvest Physiology of Perishable Plant Products. Van Nostrand Reinhold Publication, NY.

López-Gálvez, G. &. (s.f.). Los productos de cuarta gama en Estados Unidos. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (117), 33-38.

Los productos de cuarta gama, una tendencia al alza. (s.f.).(Consulta en agosto de 2015)

Mannapperuma, J. D., Zagory, D., Singh, R. P., & Kader, A. A. (1989).Design of polymeric packages for modified atmosphere storage of fresh produce. In J. K. Fellman (Ed.), Proceedings of the fifth international controlled atmosphere research conference (Vol. 2, pp.359–366).

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012. (Consultado en agosto del 2015).

Parry, R.T. (1993). Introducción. Página 13. Principles and Applications of MAP of Foods. Editado por R.T. Parry. Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall

Romojo, F., Riquelme, F., Petrel, M.T., Martinez, G., Serrano, M., Martínez, C., Lozano, P., Segura, P., y Luna P. A. (1996). Nuevas tecnologías en la conservación de frutas y hortalizas: atmósferas modificadas. Editores: Manuel Zapata y Pedro Segura. Ediciones Mundi-Prensa. Páginas 65-71.

Salveit, M. E. (2000). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. Postharvest ant Technology, 21,61,69.

Toivonen, P, M. A. y Brummel, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture change in fresh-cut fruit and vegetables. Review. Postharvest Biology ant Technology, 48,1-14.

Tomás, R. (1998). 4, 5 Gama,... o simplificar la vida al consumidor. Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros, (131), 73-76.