

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESPONJA LÍQUIDA DE PAN DE MOLDE A TRAVÉS DE UN DISEÑO FACTORIAL DE EXPERIMENTOS

OPTIMIZING CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT PROCESS OF THE SPONGE LIQUID BREAD MOLD THROUGH A FACTORIAL DESIGN

Claudia Marcela Quintero Gil¹, Helio Rueda Quijano²

Resumen

El pan dentro de sus múltiples formas es uno de los alimentos más antiguos y ampliamente consumidos por la humanidad; su aparición no se conoce a ciencia cierta, pero se presume que fue en el oriente medio, lugar donde empezó a cultivarse el trigo.

Debido a su evolución en las diferentes culturas han sido muchos los desarrollos tecnológicos e industriales; sin embargo, todos los procesos que han sido diseñados para la fabricación del pan han tenido una finalidad común y simple: la conversión de la harina de trigo en un alimento esponjoso y apetitoso.

Este objetivo se ha logrado a través de una serie de fases comunes como son la mezcla de agua y harina, junto con la levadura, sal y otros ingredientes particulares en proporciones adecuadas, así como la generación de sabor y aroma específicos mediante la fermentación y el desarrollo de una estructura de gluten en combinación con la aplicación de energía mecánica durante el amasado y la obtención posterior de una estructura final fija y consistente con un color agradable mediante el horneado.

Para lograr este objetivo que se fundamenta en los procesos de fermentación, la industria de la panificación ha creado el término esponja para referirse a un prefermento cuya función principal es precisamente modificar el sabor y aroma y contribuir al desarrollo final de la masa mediante cambios en las propiedades reológicas de la mezcla.

Entre los ingredientes de la esponja se destaca el alimento para levadura, conocido por sus iniciales como APL, el cual tiene como función principal la de regular la fermentación mediante la combinación adecuada, tanto cualitativa, como cuantitativa, de los ingredientes..

1 Claudia Marcela Quintero Gil. Ingeniero de alimentos, Especialista en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. E mail: claussquin@yahoo.com

2 Helio Rueda Quijano. Ingeniero Químico, Especialista en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. E mail: helio.rueda@gmail.com

El estudio de esta combinación se planteó en el presente trabajo con base en un diseño factorial de experimentos con tratamiento estadístico buscando evaluar los efectos de la formulación en combinación con la temperatura sobre una variable, respuesta denominada poder de gasificación la cual midió indirectamente el desarrollo de la fermentación en las esponjas líquidas que sirven como base para la preparación de pan de molde.

Los resultados arrojados permitieron definir una formulación del APL y una temperatura óptima en los cuales la variable de respuesta alcanzó los máximos valores deseados. Todo este estudio estuvo permanentemente apoyado en un método estadístico que facilitó llegar a conclusiones veraces y, además, aplicar los conocimientos adquiridos durante la especialización en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales.

Palabras clave: diseño factorial, APL, esponja líquida, actividad amilásica, actividad de levadura, pan de molde.

Abstrac

The bread in its many forms is one of the oldest and most widely food consumed by humanity, its appearance is not known for sure, but it is presumed that he was in the Middle East, where he began to cultivate wheat.

Due to its development in different cultures have been many developments in technology and industry, however all the processes that are designed to make bread have had a common purpose and simple, the conversion of wheat flour in a food spongy and appetizing.

This objective has been achieved through a series of stages are common as the mixture of water and flour with yeast, salt and other ingredients individuals in appropriate proportions; the generation of specific aroma and flavor through fermentation and the development a structure of gluten in combination with the application of mechanical energy during the kneading and the subsequent acquisition of a fixed and final structure consistent with a nice color through the baking.

To achieve this goal which is based on the fermentation of the baking industry has created the term to refer to a sponge pre whose primary function is precisely to change the flavor and aroma and contribute to the development of the mass through changes in the properties rheological properties of the mixture.

Among the ingredients of the sponge is drawn to the food for yeast known as (APL) that has the primary role of regulating the fermentation through the right mix of ingredients both qualitatively and quantitatively.

The study of this combination was raised in this paper using a factorial design of experiments with statistical treatment looking to evaluate the effects of the formulation in combination with the temperature on a response variable called gasification power which indirectly measured

the development of the fermentation Liquid sponges that serve as a basis for the preparation of bread mold.

The results made it possible to define a design and the apl an optimum temperature at which the variable response reached the maximum values desired. This whole study was supported permanently on a statistical method that provided power to reach accurate conclusions, and apply the knowledge acquired during the specialization in Process Engineering in Food and biomaterials.

Key words: *factorial design, APL, liquid sponge, business yeast bread mold.*

Recibido: enero de 2008

Aprobado: marzo de 2008

Introducción

En la industria panadera y, especialmente, en los procesos a gran escala se ha podido identificar que uno de los retos principales es mantener una calidad consistente en los procesos y en los productos que le permita destacarse y alcanzar las metas en las ventas esperadas dentro de un rango de rentabilidad razonable.

Este reto no es fácil de superar y obliga al personal técnico de las compañías a permanecer en contacto permanente con las innovaciones tecnológicas en procesos e ingredientes y a optimizar los existentes.

Para la elaboración del pan existen varios métodos cuya diferencia radica principalmente en la forma de preparación de la masa, entre ellos: método directo, procesado rápido, desarrollo mecánico y esponja y masa; este último es el más aplicado en la industria porque con él se obtienen unas mejores propiedades reológicas de la masa, un proceso controlado, un buen desarrollo final de masa y un producto con mejores características de sabor y aroma.

En el proceso de masa con esponja se destaca el de esponjas líquidas en el cual se pueden identificar como etapas principales, la preparación, el mezclado, la fermentación y el enfriamiento; en todas ellas existen variables de control, tales como, la ingreদিación, el tiempo y, especialmente, la temperatura de fermentación, la cual marca el rumbo del proceso.

Estos procesos se han venido definiendo a través de los años y están basados en conocimientos empíricos, en experiencias con otros procesos o en estudios científicos susceptibles de mejorar. Aunque se han obtenido buenos resultados, siempre mantendrán un porcentaje alto de aleatoriedad y en algunos momentos generarán fluctuaciones al proceso que se evidencian en inconsistencias en la calidad del producto.

El trabajo en mención plantea optimizar la etapa del proceso de fabricación del pan de molde, denominada esponja líquida, mediante un diseño factorial de experimentos 2^k , buscando optimizar una formulación del alimento para levadura (APL) y una condición inicial de proceso como es la variable temperatura, parámetros que en conjunto contribuyen a reducir

las fluctuaciones del proceso, impactan en los costos de producción generando ahorros en el consumo de levadura y, en general, brindan una mejor calidad en el producto terminado.

Materiales y métodos

Para el estudio de las variables que tienen efecto en el proceso de gasificación de la levadura en esponjas líquidas y de acuerdo con la revisión bibliográfica se planteó inicialmente un diseño de experimentos tipo “screen design” y, posteriormente, un factorial 2^k , con puntos axiales tomando las variables significativas de la formulación y la variable de proceso. Se realizaron doce experimentos en la primera parte y dieciséis en la segunda con tres repeticiones cada uno más seis puntos axiales, aplicando la técnica analítica de determinación del poder de gasificación en levaduras³.

Equipos y material:

- Balanza analítica.
- Presurómetro de vasija con manómetro.
- Baño de agua a temperatura controlable.
- Utensilios: vidrio de reloj, espátula, varilla de agitación.

Procedimiento. se colocaron 100 g de harina (en base 14% de humedad) y la formulación en estudio en la vasija del presurómetro, la cual fue calentada a la temperatura de referencia (25 ó 27°C); se mezcló perfectamente con una espátula; se roscó la tapa con el manómetro y se colocó el aparato en el baño de agua que estaba puesto previamente a la temperatura de referencia.

Después de 5 minutos, con el fin de dejar que todo el sistema adquiriera la temperatura, se ajustó el manómetro a cero abriendo la válvula por un instante y se empezó a contar el tiempo. Se tomó la lectura después de 3 horas y se reportó la presión final.

Descripción general del diseño de experimentos: una vez definida la condición de operación y la formulación se planteó el diseño de experimentos tipo “screen design” (Plackett & Burman) buscando determinar las variables que tienen influencia y luego un factorial 2^k para poder explorar en dirección óptima con puntos axiales y con repeticiones. Con esta secuencia de experimentos se buscó alcanzar el objetivo de evaluar el efecto de la formulación del APL en combinación con la temperatura de fermentación sobre la variable dependiente, “poder de gasificación de la levadura”, la cual sirve como indicador de la fermentación en esponjas líquidas.

Los términos estadísticos son:

- Población: soluciones de prefermento (esponjas líquidas).
- Factores: azúcar(g), sal (g), fosfato monocálcico (g), cloruro de amonio (g), oxidante ácido ascórbico (g), enzima alfa amilasa (g), oxidante ADA (g), temperatura (°C).
- Niveles: mínimo (-1) y máximo (+1).

3 Técnica AACC 22-11 8E.1991.

- Unidades experimentales: esponja líquida dentro del presurómetro.
- Variable respuesta: poder de gasificación (psi).
- Tamaño del experimento: 12 experimentos en diseño Plackett & Burman, 16 experimentos en factorial 2^4 más 8 experimentos en puntos axiales.
- Repeticiones: se hicieron tres repeticiones del factorial 2^4 .

Resultados y discusión

El modelo matemático obtenido en la secuencia de experimentos y que sirve de base para el análisis de superficies de respuestas es:

$$R = 22.433 - 1.685 X_1 + 1.765 X_2 + 3.601 X_3$$

Donde:

R = Poder de gasificación de la levadura

X_1 = Concentración de sal en la esponja líquida

X_2 = Concentración de cloruro de amonio en la esponja líquida

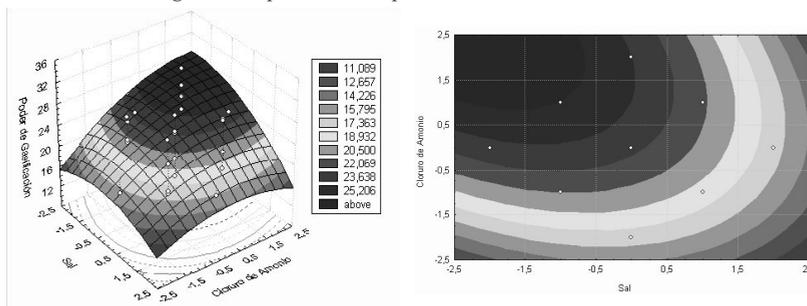
X_3 = Temperatura de fermentación de la esponja líquida

Superficies de respuesta

Del diseño factorial 2^4 completo se obtuvo las siguientes superficies de respuesta para las variables con efectos estadísticamente significativos.

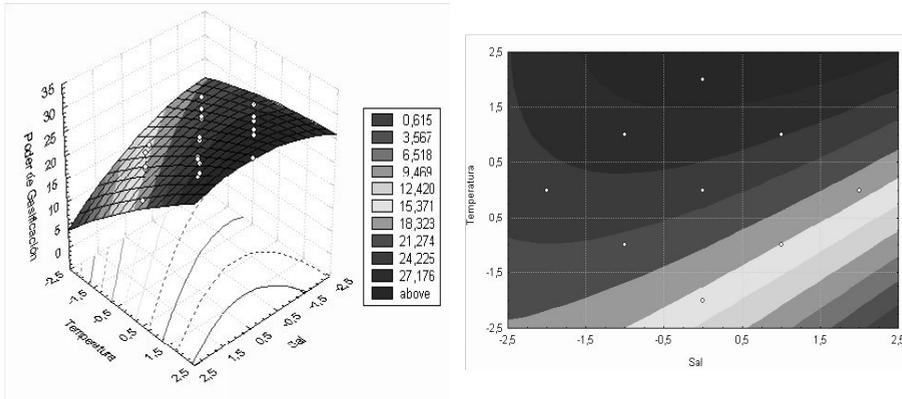
Superficie de respuesta del efecto de sal – cloruro de amonio. En la figura 1 se puede observar que los valores óptimos para maximizar el poder de gasificación de la levadura en esponjas líquidas, de acuerdo con la secuencia de experimentos, se encuentran en las superficies de contorno, próximas al máximo de cloruro de amonio y al mínimo de sal para los efectos en mención.

Figura 1. Superficies de respuesta Sal – Cloruro de Amonio



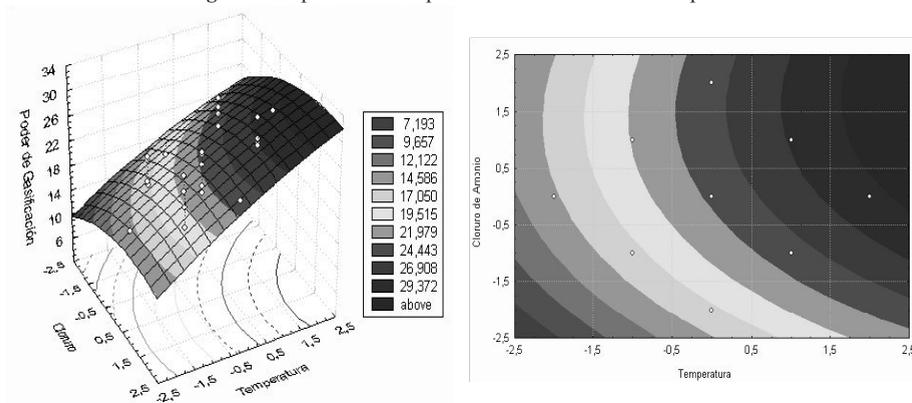
Superficie de respuesta del Efecto de Sal – Temperatura. En la figura 2 se observan los valores óptimos que permiten maximizar el poder de gasificación de la levadura en esponjas líquidas para la combinación sal – temperatura quedando la curva de contorno en la región próxima a los máximos de temperatura y los puntos medios de la concentración de sal.

Figura 2. Superficies de respuesta sal – temperatura



Superficie de respuesta del efecto de cloruro de amonio – Temperatura. Finalmente, en la figura 3 se observan los valores óptimos para la combinación cloruro de amonio – temperatura; estas variables permiten el máximo poder de gasificación en la curva de contorno, próxima a los máximos de las respectivas variables.

Figura 3. Superficies de respuesta cloruro de amonio – temperatura



Conclusiones

- Los dos ingredientes de la formulación (sal y cloruro de amonio) y la variable de proceso (temperatura de fermentación) tienen efecto significativo sobre el poder de gasificación de la levadura en las esponjas líquidas; no sucede lo mismo con el efecto del fosfato monocalcico y la interacción entre las variables estudiadas que son estadísticamente no significativas.
- El efecto observado de la temperatura sobre el poder de gasificación de la levadura es el más representativo de todos y en magnitud pesa aproximadamente el doble que los efectos de las otras variables, lo que corrobora la información teórica del fuerte efecto que tiene sobre la fermentación y especialmente sobre la actividad de la levadura en los procesos de esponjas líquidas.
- En el diseño de experimentos se reafirma el referente teórico sobre el bajo efecto del pH en el poder de gasificación de la levadura en esponjas líquidas, ya que el ingrediente de la formulación que tuvo un efecto no significativo sobre la gasificación de la levadura fue el fosfato monocalcico cuya funcionalidad es el acondicionamiento de la acidez del agua.
- La formulación óptima de la esponja líquida para el pan de molde se obtuvo en el punto de mayor poder de gasificación (tratamiento 13 tabla 10), cuando contiene los siguientes ingredientes: 0.1% de sal, 0.1% de fosfato monocalcico, 0.2% de cloruro de amonio y se mantiene a una temperatura de fermentación en 27°C.
- El diseño de experimentos tiene validez estadística porque cumple los supuestos del modelo como son la normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianzas.

Referencias Bibliográficas

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY (AACC). Técnica AACC 22-11 8E.1991.
- ANDREWS, Graham. Technical Bulletin AIB Research Department, High Speed Dough Mixing and Mixers. Arkansas City, Kansas. December 1989.
- CAUVIN, STANLEY P.; YOUNG, Linda S. Fabricación de Pan. Editorial Acribia S. A. Zaragoza. 2002.
- COLLINS, T. H. Mixing, moulding and processing of bread doughs in the UK, in Breeding to Baking, Proceedings of an International Conference at FMBRA, Chorleywood, CCFRA, Chipping Campden. 1-16 June 1994, pp. 77-83.
- DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. Curso de Panificación. Saf Mex. Toluca, Estado de México. Marzo 2003.

- DUBOIS, Donald K. Technical Bulletin AIB Research Department, Technical Assistance Industry Problems And Replies. Arkansas City, Kansas, January 1981.
- KULP, Karel. Technical Bulletin AIB Research Department, Influence of Liquid Ferments on Quality Characteristics of White Pan Bread. Arkansas City, Kansas. September 1986.
- MONTGOMERY, D. Diseño y Análisis de Experimentos. Limusa Wiley, 2da Edición, 2002.
- RODRÍGUEZ, Maria Isabel; IEMMA, Antonio Francisco. Planejamento de Experimentos e Otimizacao de Processos. Casa do Pao Editora. 2005.
- PRAT BARTES, Albert; TORT MARTORELL, Xavier. Métodos Estadísticos Control y Mejora de la Calidad. Alafaomega Edicions. 2000.
- PYLER, E. J. Baking Science and Technology. Third Edition. Sosland Publishing Company, Kansas City, Missouri, 1988.
- SANDERSON, Gary W; REED, Gerald; BRUINSMA, Bernard; COOPER, Elmer J. Technical Bulletin AIB Research Department, Yeast Fermentation in Bread Making. Arkansas City, Kansas. December 1983.
- SCHILLER, G. W. Dixie; MILLS, Portland. Technical Bulletin AIB Research Department, Bakery Flour Specifications. Arkansas City, Kansas. February 1981.
- SHARON, L. Lohr. Muestreo Diseño y Análisis. International Thomson Editores, 2000.
- SPSS, Guía para el Análisis de datos. Hispano portuguesa SPSS. Luchana 23. 5ta Planta, Madrid.
- VISAUTA VINACUA, B. Análisis estadístico con SPSS para Windows. Mc Graw Hill. 1998.
- WALPOLE; MYERS; MYERS. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Pearson Education, Sexta Edición 2001.
- WULF, T. Doerry; ROSS, Annabel; BAKER, Ardith. Technical Bulletin AIB Research Department, Liquid Preferments a Study of Factors, Affecting Fermentation Parameters And Bread Quality. Arkansas City, Kansas. June 1985.

EFFECTO DE INHIBIDORES DE PARDEAMIENTO Y LA TÉCNICA DE ATMÓSFERA MODIFICADA EN MANGO (*Mangifera indica* L) VARIEDAD VAN DYKE MÍNIMAMENTE PROCESADO

EFFEFFECT OF INHIBITORS AND THE TECHNIQUE OF MODIFIED ATMOSPHERE IN MANGO (*Mangifera indica* L) VARIETY VAN DYKE MINIMALLY PROCESSED

Jesús Antonio Galvis Vanegas¹, Martha Cecilia Castillo Muñoz²

Resumen

El mango (*Mangifera indica* L) variedad Van Dyke es un fruto apetecido a nivel nacional e internacional por su agradable aroma, intenso color amarillo y buen balance de ácidos/azúcares.

La investigación se desarrolló en dos etapas. En la primera se determinó la respuesta de los trozos de fruto a la aplicación de tres inhibidores de pardeamiento en dos concentraciones: (ácido cítrico a 150 y 300 ppm; ácido ascórbico a 250 y 500 ppm y L-Cysteina a 100 y 200 ppm), con relación a la calidad y tiempo de almacenamiento; en la segunda, se estableció el tiempo de vida útil de modo que conserve sus características organolépticas, cuando se combina el mejor inhibidor de pardeamiento, con la técnica de atmósfera modificada en concentraciones de 5% de CO₂, 5% de O₂ y 90% de N₂, empleando dos tipos de empaque: canastillas plásticas y bandejas de icopor, colocadas dentro de bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) calibre 2 (0.035 mm de espesor).

Los trozos de mango se almacenaron a temperatura de $3 \pm 1^\circ\text{C}$ y humedad relativa (HR) entre 85 y 90%, durante 9 días en la primera etapa y durante 12 días en la segunda.

Las variables seleccionadas para evaluar el comportamiento del producto durante todo el experimento fueron: Pérdida de peso, Sólidos solubles, pH, azúcares y al final de los experimentos se realizó un análisis sensorial. Las variables medidas fueron sometidas a análisis de varianza y la comparación de las medias entre tratamientos se hizo mediante la prueba de Tuckey a un nivel de significancia del 95%. Se usó un diseño experimental completamente al azar con estructura factorial de 3 x 2 en la primera etapa y 2 x 2 en la segunda, muestras de 250 gramos en tres repeticiones fueron utilizadas para cada tratamiento.

El tratamiento con inhibidores que obtuvo las mejores respuestas organolépticas y físicas durante el almacenamiento fue el de trozos de mango tratados con ácido ascórbico en concentración

1 Ingeniero Agrícola, PhD Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Colombia, Docente superior IV Fundación Universidad Agraria de Colombia UNIAGRARIA. E mail: jagalvisv@gmail.com

2 Ingeniera Agrícola, MSc Ingeniería Agrícola Universidad Nacional de Colombia. E mail: mcastillom@unal.edu.co

de 500 ppm, por lo que en el almacenamiento en atmósfera modificada se empacaron trozos de mango tratados con este inhibidor en dicha concentración en dos condiciones de empaque obteniéndose la mejor respuesta en aquellos trozos de mango tratados con ácido ascórbico empacados en bandeja de icopor con una vida útil de 12 días.

Palabras claves: inhibidor de pardeamiento, mango, atmósfera modificada, conservación.

Abstract

The Van Dyke mango variety is a much desired fruit in the country and outside of it, thanks to its pleasant smell, its yellow and orange intense colour and sugar/acids good balance.

This research shows the effect of the application of browning inhibitor agents combined with modified atmosphere technique in Van Dyke variety mango minimally processed.

The project was developed in two parts. The first part was about determining into three browning inhibitor agents and two different concentrations: (citric acid in concentrations of 150 ppm and 300 ppm, ascorbic acid in concentrations of 250 ppm and 500 ppm and LCysteina in concentrations of 100 ppm and 200 ppm), which was the one that showed the best reaction related to the quality and storage time.

The second part determined the shelf life of the mango minimally processed for keeping its organoleptics, characteristics when it combines the best browning inhibitor agents found in the first stage, using the modified atmosphere technique with 5% of O₂, 5% of CO₂ and 90% of N₂ and employing two different packaging conditions: plastic containers and polystyrene trays, put into bags of polyethylene-low density (LDPE) 2 calibre (0.035 mm of thickness).

The slices of mango were storage in 3±1°C and with an HR between 85 and 90% during nine days in the first stage and twelve days the second part. In the first part, some processed fruit but not immersed in any of the solutions was taken as proof in the second part, some processed but not treated with browning inhibitor packed in the same conditions in modified atmosphere was taken as proof.

The variables choose to see the behaviour of the packed product in each experimental stage was: lost of weight, pH, brix degrees, sugars: sucrose, fructose and glucose.

The SAS statistics program was used to analyze the changes of the properties through the time, as well as its answer depending the type of the treatment (first stage) and the condition of the packing in the modified atmosphere (second stage), through the analysis of ANOVA, and the Tuckey's comparing proofs in a significant level of 5%.

The treatment of mango's slices with browning inhibitor agents, allowed to increase the shelf life of the product until nine days, specially the ones treated with ascorbic acid in concentration 500 ppm, due to the constant reduction of the lost of weight and excellent approval related to

the sensorial characteristics like colour, flavor, texture and general appearance. The mango slices treated with ascorbic acid in 500 ppm and storage in modified atmosphere diminishes notoriously its lost of weight, allowing the evolution of its sugars, specially the ones in conditioned polystyrene trays and packed in bags of polyethylene-low density calibre two, it also presented the best sensorial characteristics.

Keys words: *browning, mango, modified atmosphere, ascorbic acid.*

Recibido: septiembre de 2007

Aprobado: diciembre de 2007

Introducción

La creciente demanda por frutas y vegetales frescos ha hecho necesario que los centros de investigación en tecnología de alimentos apunten a desarrollar técnicas de conservación y de transformación de productos agrícolas de modo que estos tengan características muy similares a las de los frescos, además de conservar sus atributos de calidad e inocuidad. Los productos mínimamente procesados o de IV gama, pueden ser una solución viable.

Cuando el mango se pela y se corta para obtener un producto mínimamente procesado, presenta pardeamiento superficial en pocas horas, afectando su apariencia, lo cual influye en la calidad. Este hecho y la demanda por esta variedad en el mercado internacional, motivó el desarrollo de la presente investigación.

Los productos mínimamente procesados, son aquellos a los cuales se les ha realizado una o varias operaciones unitarias tales como pelar, cortar, en combinación con técnicas de conservación como tratamiento térmico mínimo, el empleo de preservantes, aplicación de agentes antioxidantes, inmersión en agua clorada, aplicación de la técnica de atmósferas modificadas o una combinación de varias de éstas, con el fin de controlar las características físicas, químicas y biológicas de modo que su aspecto sea muy similar al de los productos frescos (Wiley, 1995; Cantwell, 1995).

Los productos mínimamente procesados, permitirán a cadenas de mercados y restaurantes, obtener y conservar materia prima lista para la elaboración de productos de pastelería, pizzería, ensaladas, entre otros (Segall, et al, 1996; Catalá, et al, 2001).

Los productos mínimamente procesados presentan mayor grado de perecibilidad que los productos frescos de los que provienen (Rolle y Chism, 1987). La rotura del tejido vegetal por el corte incrementa la respiración y transpiración que conduce a un rápido deterioro del producto (Masih *et al*, 2002).

La presentación en rodajas, trozos, etc., es amplia, dependiendo de la naturaleza del producto no procesado y de su forma general de consumo (Huxsol y Bolin, 1989).

El empaque en atmósfera modificada es un proceso dinámico en el que el recipiente y el producto interactúan entre sí haciendo que el ambiente gaseoso interno alcance un equilibrio adecuado que reduce la velocidad de respiración, la sensibilidad al etileno y la pérdida de humedad (Gunes, et al, 1997).

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de inhibidores de pardeamiento en combinación con la técnica de atmósfera modificada sobre la calidad y tiempo de vida útil del mango variedad Van Dyke mínimamente procesado.

Metodología

Se emplearon mangos de la variedad Van Dyke provenientes de la finca Frutol ubicada en el municipio de El Espinal (Tolima). Los frutos fueron cosechados en grado de madurez 4, (más del 60% de la pulpa presentaba color amarillo).

Frutos de excelente calidad fueron transportados el mismo día de la cosecha, hasta las instalaciones de la Planta Piloto de Vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Los frutos seleccionados se lavaron y desinfectaron en solución de Mertec (200 ppm). Posteriormente se les retiró la corteza, la pulpa se troceó manualmente en cubos de 2 cm de arista. Los trozos se sumergieron en las soluciones de inhibidores de pardeamiento durante 10 minutos. Posteriormente, se secaron con papel absorbente y se colocaron en recipientes plásticos, los cuales fueron recubiertos con películas de polietileno de baja densidad, calibre 2 (0.035 mm de espesor), y se almacenaron en cuarto de refrigeración (temperatura $3 \pm 1^\circ\text{C}$, humedad relativa 85 – 90%) por un tiempo de 9 días.

Una vez determinado el mejor tratamiento con inhibidores de pardeamiento, se realizó una segunda etapa aplicando el mejor inhibidor obtenido en la primera etapa con su respectiva concentración almacenando trozos de mango en condiciones de atmósfera modificada (5% O₂, 5% CO₂, 90% N₂) en dos tipos de empaque: canastilla plástica sin tapa y bandeja de icopor, los cuales fueron posteriormente introducidos, por separado, dentro de bolsas de polietileno calibre 2, durante 12 días.

Frutos procesados pero no tratados con inhibidor de pardeamiento y almacenados en atmósfera modificada, fueron tomados como testigo en las mismas condiciones de empaque y condiciones de almacenamiento.

La Tabla 1, presenta los tratamientos aplicados a los trozos de mango en las dos etapas. Las variables medidas fueron: 1) Pérdida de peso, se utilizó una balanza Scout – Pro de lectura digital. 2) Sólidos solubles, fueron medidos con un refractómetro marca Brixco, 3) pH, se utilizó un pH-metro marca Metrohm 4) Contenido de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) se utilizó una columna marca Alltech de intercambio catiónico, la detección de los azúcares fue hecha a través de un detector refractométrico diferencial marca Waters® Las anteriores determinaciones

fueron realizadas cada 3 días. 5) Al final de los respectivos períodos de almacenamiento (9 días en la primera etapa y 12 días en la segunda), se realizó la evaluación sensorial sobre frutos de cada uno de los tratamientos. Fueron empleados 6 panelistas entrenados y se evaluó el aroma, el sabor, la textura, la apariencia y el color. Para el análisis estadístico de la evaluación sensorial se utilizó el método estadístico Kruscal-Wallis.

Tabla 1. Tratamientos aplicados a trozos de mango variedad Van Dyke minimamente procesados en las dos etapas

TRATAMIENTO	INHIBIDORES
Etapa 1	
T1	Acido Cítrico 150 ppm
T2	Acido Cítrico 300 ppm
T3	Acido Ascórbico 250 ppm
T4	Acido Ascórbico 500 ppm
T5	L-Cysteína 100 ppm
T6	L-Cysteína 200 ppm
Testigo	Sin inhibidor
TRATAMIENTO	EMPAQUE E INHIBIDOR
Etapa 2	
T1	Bandeja de icopor con inhibidor
T2	Bandeja de icopor sin inhibidor
T3	Canastilla plástica con inhibidor
T4	Canastilla plástica sin inhibidor

El equipo empleado para empacar e inyectar la mezcla de gases al producto ya procesado y dispuesto en sus respectivos recipientes, fue una empacadora marca Minipack Torre SpA. Food division, serie 24044. Dalmine (BG).

A todas las variables medidas se les realizó análisis de varianza y las medias de las mediciones en cada tratamiento fueron comparadas a través de la prueba de Tuckey con una probabilidad del 95%. Fueron utilizados 250 gramos por empaque y la media de 3 repeticiones fue utilizada como unidad.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2 (3 inhibidores, 2 concentraciones) para la primera etapa y 2 x 2 (2 tipos de empaque, 2 niveles de inhibidor) para la segunda etapa.

Resultados y Discusión

Primera etapa

Pérdida de peso:

Las pérdidas de peso se presentaron a partir de las 24 horas de almacenamiento en los trozos de mango de todos los tratamientos y ella fue en aumento hasta el final del almacenamiento (Figura 1).

Las menores pérdidas las registraron los frutos tratados con ácido cítrico en concentración de 300 ppm, con un valor de 6.9%, seguidos por los frutos tratados con L-Cysteina a 100 ppm

(7.8%), ácido ascórbico a 250 ppm (8.4%), L-Cisteína a 200 ppm (8.7%), ácido cítrico a 150 ppm (9.1%), ácido ascórbico a 500 ppm (9.8%) y finalmente los frutos testigos con un valor de 11.8%.

El análisis de varianza mostró que se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos al final del almacenamiento. La Prueba de comparación de Tuckey indica que no hubo diferencias entre los tratamientos con ácido cítrico (300 ppm), L-Cisteína (100 ppm) y ácido cítrico (150 ppm), ni entre los tratamientos con ácido ascórbico (250 ppm) y L-Cisteína (200 ppm). Por el contrario el tratamiento con ácido ascórbico (500 ppm) y el testigo presentaron diferencias significativas entre si y con el resto de tratamientos.

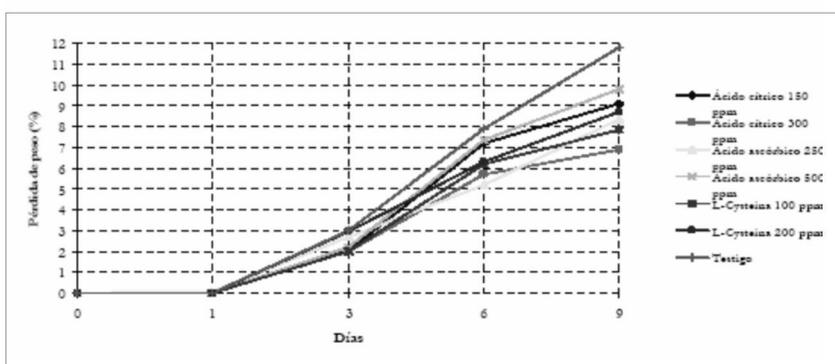


Figura 1. Porcentaje de pérdidas de peso en trozos de mango de la variedad Van Dyke tratados con diferentes concentraciones de antioxidantes

Sólidos solubles (SS)

Los sólidos solubles aumentaron en los trozos de mango de todos los tratamientos durante el periodo de almacenamiento.

La figura 2 presenta la variación de los °Brix (SS), en función del tiempo de almacenamiento del producto; se observa que los frutos del tratamiento testigo presentaron a partir del tercer día, valores de °Brix superiores a los trozos de fruto de los demás tratamientos. Este comportamiento se mantuvo hasta el final del almacenamiento y fue similar al comportamiento presentado por mangos de la misma variedad almacenados en atmósfera modificada (Galvis, 2005). Este comportamiento puede ser debido al efecto retardante de los inhibidores de pardeamiento en la maduración.

El Anova mostró que se presentaron diferencias altamente significativas entre los frutos de los diferentes tratamientos a lo largo del almacenamiento; la prueba de comparación de Tuckey mostró diferencias significativas al final del almacenamiento entre los frutos testigo y los frutos de los demás tratamientos.

pH

El pH de los frutos de todos los tratamientos presentó tendencia a aumentar hasta el día 6 de almacenamiento; sin embargo los frutos tratados con L-Cysteína (100 y 200 ppm) y los tratados con ácido cítrico (150 ppm) el pH de los trozos presentó aumento hasta el final del almacenamiento, indicando que en ellos el proceso de maduración continuó (Tovar *et al*, 2001).

La Figura 3 presenta el comportamiento de los trozos de mango respecto al pH en los diferentes tratamientos con inhibidores.

El análisis de varianza muestra que el pH presentó diferencias altamente significativas entre los trozos de los diferentes tratamientos a lo largo del almacenamiento. La prueba de comparación de Tuckey mostró para el día 9 que no hubo diferencias significativas entre los trozos tratados con ácido cítrico (150 ppm) y ácido ascórbico (500 ppm); sin embargo estos presentaron diferencias significativas con todos los frutos de los demás tratamientos.

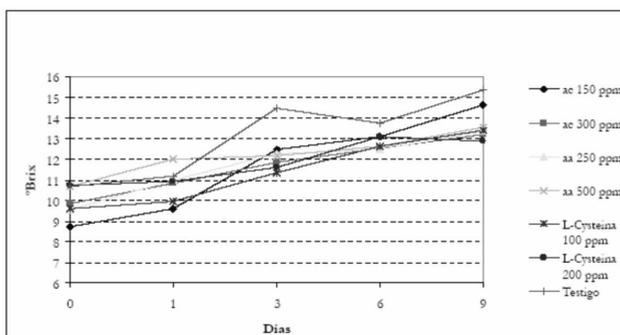


Figura 2. Variación de los SS (°Brix) en trozos de mango de la variedad Van Dyke tratados con diferentes concentraciones de antioxidantes

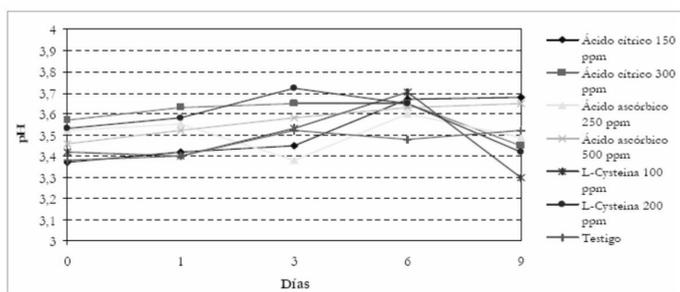


Figura 3. Variación del pH en trozos de mango de la variedad Van Dyke tratados con diferentes concentraciones de antioxidantes

Análisis sensorial

En la figura 4, se observa que los trozos de fruta del tratamiento con ácido ascórbico en concentración de 500 ppm (aa 500) presentaron las mejores calificaciones respecto al color, sabor, aroma, textura y apariencia general, seguidos de los frutos de los tratamientos con ácido cítrico en concentración de 150 ppm (ac 150), los frutos testigo, los frutos del tratamiento con ácido ascórbico en concentración de 250 ppm (aa 250) y los trozos tratados con L-cysteina en concentración de 200 ppm (L-200). Los frutos tratados con L-Cysteína en concentración de 100 ppm obtuvieron las calificaciones más bajas.

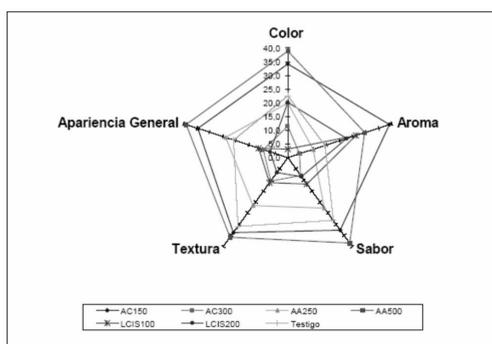
El análisis estadístico de Kruskal – Wallis para el día 9 de almacenamiento mostró que se presentaron diferencias significativas en las características sensoriales evaluadas en los frutos de los tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos con relación a las propiedades físicas, químicas y especialmente las sensoriales de los frutos de los diferentes tratamientos, como también el análisis estadístico, se estableció que la mejor respuesta en condiciones de calidad en los 9 días de almacenamiento, la presentaron los trozos de mango tratados con ácido ascórbico en concentración de 500 ppm.

En este tratamiento los trozos de mango obtuvieron las más altas calificaciones en el panel sensorial en las cualidades de color, sabor, textura y apariencia general.

Por lo anterior este tratamiento fue escogido para ser aplicado en trozos de mango en combinación con la técnica de atmósfera modificada durante 12 días de almacenamiento empleando dos tipos de empaque como se mencionó en la metodología.

Aunque los resultados del análisis microbiológico no se presentan en este artículo, los trozos de mango tratados con esta solución, obtuvieron los más bajos recuentos de mohos, levaduras y coliformes totales por debajo de 3 y los recuentos de esporas clostridium sulfito reductoras por debajo de 10 hasta el final del periodo de almacenamiento.



*Los valores que aparecen en los ejes de la gráfica corresponden a los valores promedio de los rangos de cada variable sensorial analizada en cada uno de los tratamientos.

Figura 4. Evaluación sensorial de trozos de mango variedad Van Dyke tratado con antioxidantes en dos concentraciones al final del almacenamiento

Segunda etapa

Al igual que en la primera fase del estudio, para establecer el efecto de la aplicación de ácido ascórbico en concentración de 500 ppm, como inhibidor de pardeamiento en trozos de mango en combinación con la técnica de atmósfera modificada, se observaron los cambios en el tiempo, de las propiedades físicas, químicas, y sensoriales del producto.

Galvis *et al* (2005) trabajando con frutos enteros de esta misma variedad acondicionados en AM dentro de bolsas de polietileno de baja densidad calibre 2 (0.035 mm de espesor), encontraron que los mejores resultados se presentaron para una composición inicial de gases de 5% de O₂, 5% de CO₂ y 90% de N₂, debido a que permitió la maduración de las frutas sin que se presentaran alteraciones en sus características organolépticas en un tiempo mayor respecto a los frutos testigo, colocados a una temperatura de 12°C.

Pérdida de peso

Como se observa en la figura 5, los trozos de mango del tratamiento testigo, empacados en bandeja de icopor, presentaron la mayor pérdida de peso durante el almacenamiento, con un valor de 4.0%, seguido del producto tratado con ácido ascórbico en 500 ppm empacado en bandejas de icopor con 3.4%. La menor pérdida de peso la registraron los trozos de mango del tratamiento con ácido ascórbico en 500 ppm y los del tratamiento testigo empacado en canastilla plástica, con 1.8% y 2.6%% respectivamente.

Comparando la variación de peso de los trozos de mango en estos tratamientos se observa que los acondicionados en canastilla plástica, registraron menores variaciones de peso, lo cual permite concluir que el tipo de empaque influye altamente en la variación de peso del producto.

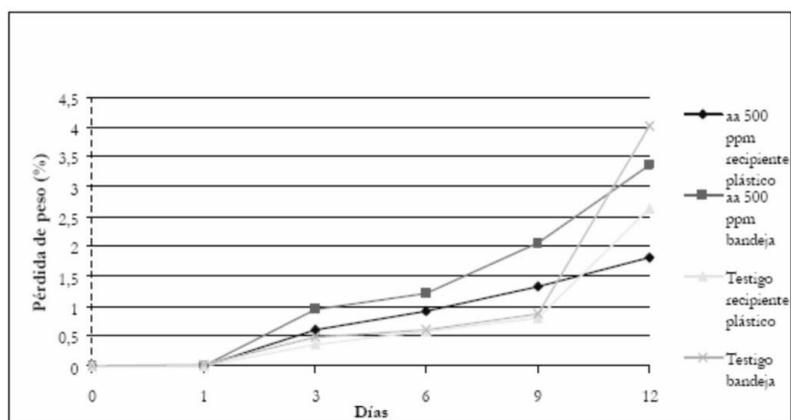


Figura 5. Porcentaje de pérdidas de peso en trozos de mango de la variedad Van Dyke en atmósfera modificada tratados con ácido ascórbico 500 ppm, en dos condiciones de empaque

El Anova mostró que existieron diferencias altamente significativas entre los frutos de los tratamientos a partir del día 6 hasta el final del almacenamiento, pero no se encontraron diferencias en las condiciones de empaque empleadas en el mismo periodo de tiempo. Sin embargo, es importante anotar que las pérdidas de peso observadas en trozos de mango variedad Van Dyke almacenados en AM fueron menores que las que se registraron en la misma variedad empacados en atmósfera normal (primera etapa) y en las mismas condiciones hasta el noveno día de almacenamiento.

Fonseca (2005), observó que en mango minimamente procesado de la variedad keit y empacado en atmósfera modificada, la pérdida de peso fue de 26% en frutos testigo, del 18% para mangos troceados empacados en películas plásticas de baja densidad calibres 2 y 3 y del 15.5% en trozos empacados en canastillas plásticas, almacenados a 12°C. Estas diferencias muestran la influencia de la temperatura en la conservación del producto.

pH

El pH de los trozos de mango de todos los tratamientos mostró un aumento hasta el noveno día y luego una disminución hasta finalizar el periodo de almacenamiento (Figura 6). Senesi et al, (1999), encontraron un comportamiento diferente en peras mínimamente procesadas, las cuales presentaron un leve aumento en los últimos tres días de almacenamiento tanto en las tratadas con antioxidantes como en aquellas tomadas como testigo.

El análisis de varianza muestra que se presentaron diferencias altamente significativas en el valor de pH de los trozos de mango de todos los tratamientos durante el periodo de almacenamiento y la prueba de comparación de Tuckey indica que hay diferencias significativas entre los trozos de fruta tratados con inhibidor y los no tratados tomados como testigo a partir del tercer día de almacenamiento, así como entre las condiciones de empaque empleadas, lo cual significa que las condiciones de empaque influyen sensiblemente en el valor de pH.

Azúcares

Sacarosa

La sacarosa fue el azúcar que presentó los niveles más altos en todos los tratamientos en atmósfera modificada, comparado con fructosa y glucosa como se observa en la tabla 2. Promedios con la misma letra leídos verticalmente no presentan diferencia significativa, según la prueba de Tuckey al 5% de significancia.

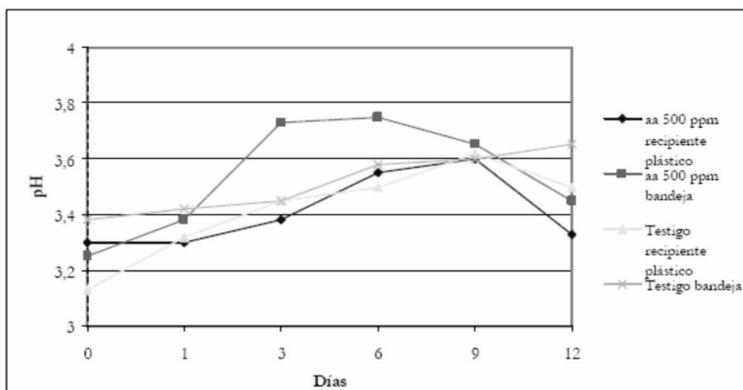


Figura 6. Variación del pH en trozos de mango de la variedad Van Dyke en atmósfera modificada tratadas con ácido ascórbico 500 ppm, en dos condiciones de empaque

Tabla 2. Valores promedio de azúcares de trozos de mango variedad Van Dyke enpacados en atmósferas modificada (mg/g)

TRATAMIENTOS	TIEMPO (DÍAS)		
	0	6	12
AA Canastilla			
Sacarosa	5.36b	5.29b	6.25a
Glucosa	0.41c	0.53b	0.77b
Fructosa	1.87c	2.05b	2.71a
AA Bandeja			
Sacarosa	5.97b	5.40b	6.02ab
Glucosa	0.50b	0.68a	0.75b
Fructosa	2.12b	2.21a	2.68 ^a
Testigo Canastilla			
Sacarosa	7.73a	6.28a	5.52b
Glucosa	0.58a	0.68a	0.80 ^a
Fructosa	2.74a	2.16a	2.46b
Testigo Bandeja			
Sacarosa	6.11a	6.89a	6.67a
Glucosa	0.51b	0.58b	0.78b
Fructosa	1.56c	2.09b	2.03c

El análisis de varianza mostró que hubo diferencias altamente significativas en el contenido de sacarosa de los frutos entre tratamientos, la prueba de Tuckey mostró que los trozos de mango provenientes del tratamiento en bandeja de icopor presentaron valores similares en el contenido de sacarosa a lo largo del almacenamiento, igual comportamiento presentaron los frutos provenientes del tratamiento con ácido ascórbico en bandeja de icopor.

Glucosa

La Tabla 2 muestra que este azúcar presentó el menor contenido en todos los tratamientos, durante el periodo de almacenamiento. Este hecho es importante debido a que en la glucosa actúan proteínas enzimáticas que participan en reacciones redox (oxidación), lo que puede dar

lugar a pardeamiento (Salisbury, 1994). Además la glucosa es un azúcar que participa en el proceso de respiración reduciendo su contenido (Arjona, *et al*, 2000)

El Anova mostró que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos. La prueba de Tuckey mostró diferencias en el contenido de glucosa entre los trozos de mango tratados con ácido ascórbico y aquellos que fueron tomados como testigo, los cuales presentaron los mayores contenidos durante el almacenamiento tanto en canastilla plástica como en bandeja de icopor, (tabla 2). Un comportamiento similar fue observado por Gálvis *et al* (2005), en mangos enteros de la misma variedad almacenados en diferentes condiciones de AM a 12°C, durante 25 días de almacenamiento, siendo superior en los frutos del tratamiento testigo a aquellos acondicionados en bolsas calibre 2.

Fructosa

Este azúcar se encontró en niveles más bajos que los de sacarosa, pero más altos que los de glucosa. Este comportamiento se presentó en todos los tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento. En la tabla 2, se observa que la fructosa aumentó hasta el final del ensayo en los trozos de mango de los tratamientos con ácido ascórbico, además de presentar los mayores valores, siendo más elevado en los trozos empacados en canastilla plástica que en los colocados en bandeja de icopor. Por el contrario, los trozos de los tratamientos testigo colocados en bandejas de icopor, registraron los menores contenidos de fructosa. Senesi, *et al* (1999), observaron que en peras troceadas de las variedades Abate Fetel y Kaiser la fructosa disminuye durante 12 días y aumenta en los últimos 3 días de almacenamiento. Al igual que para la sacarosa la prueba de comparación de Tuckey mostró que no hay diferencias significativas entre los trozos de mango tratados con ácido ascórbico y los tomados como testigo para este azúcar.

Análisis sensorial

En el análisis de las características sensoriales se encontraron diferencias significativas de las variables evaluadas en los trozos de mango de los diferentes tratamientos al final del almacenamiento, como se muestra en la figura 7.

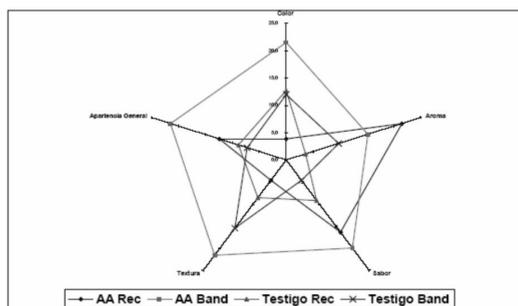


Figura 7. Evaluación sensorial de mango variedad Van Dyke mínimamente procesado, al final del almacenamiento, tratado con ácido ascórbico (500 ppm) en atmósfera modificada

La mejor respuesta respecto al color, la apariencia general, la textura y el sabor lo presentaron los trozos del tratamiento con ácido ascórbico empacado en bandeja de icopor (AA Band) y los que recibieron la más baja calificación fueron los trozos del tratamiento con ácido ascórbico empacado en canastilla plástica (AA Rec) y los frutos testigo empacados en bandeja de icopor, lo cual resalta el efecto benéfico del ácido ascórbico como inhibidor de pardeamiento y la canastilla plástica como empaque.

Brecht (1995), afirma que la tolerancia de frutas y vegetales a niveles bajos de O₂ y elevadas concentraciones de CO₂, la mayoría de las veces, es determinante en la prolongación de la vida útil de frutas y vegetales mínimamente procesados, dado que reduce e inhibe la actividad metabólica, especialmente la acción y biosíntesis del etileno. Este mismo autor sostiene que el monóxido de carbono es algunas veces, incluido para inhibir el pardeamiento y el crecimiento de microorganismos y este efecto pudo ser la razón por la que en los trozos de mango tratados con ácido ascórbico en concentración 500 ppm y acondicionados en bandeja de icopor hayan tenido menores recuentos de mohos y levaduras, así como de mesófilos aerobios.

Conclusiones

- Los resultados de la primera etapa de la investigación muestran que mediante la aplicación de la tecnología de alimentos mínimamente procesados, es posible prolongar la vida útil de mango troceado de la variedad Van Dyke hasta por 9 días de almacenamiento a $3 \pm 1^\circ\text{C}$ colocados en atmósfera normal.
- El antioxidante aplicado al mango de la variedad Van Dyke mínimamente procesado acondicionado en atmósfera normal, que mejor efecto causó fue el ácido ascórbico en concentración de 500 ppm.
- El análisis sensorial realizado en los trozos de mango tratados con ácido ascórbico (500 ppm), empacados en canastilla plástica en atmósfera normal y los tratados con el mismo inhibidor en atmósfera modificada (AM) en las mismas condiciones de almacenamiento, mostró que este último tratamiento es más efectivo en la conservación del mango.
- Los trozos de mango en AM que obtuvieron las calificaciones más altas en la evaluación sensorial respecto al color, sabor, textura y apariencia general, fueron los tratados con ácido ascórbico en 500 ppm, colocados en bandejas de icopor e introducidos en bolsas de polietileno de baja densidad calibre 2.
- El ácido ascórbico en 500 ppm demostró ser un inhibidor de pardeamiento efectivo en las dos etapas del presente estudio.

Referencia Bibliográficas

- ARJONA, H., GALVIS, J. A. 2000. Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del mango (*Mangifera indica* L) variedad Van Dyke. En: 2do. Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. Bogotá Colombia.
- BRECHT, J. 1995. Physiology of lightly processed fruit and vegetables. Horticultural Sciences Department. University of Florida. En: HortScience. Alexandria. Vol 30 No 1 (Feb); p18
- FONSECA, L. 2005. Obtención y conservación de mango (*Mangifera Indica* L) mínimamente procesado variedad keitt. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá.
- GALVIS, J. A, ARJONA H. FISCHER G AND MARTINEZ R. 2005. Using modified atmosphere packaging for storing 'Van Dyke' mango (*Mangifera Indica*, L) fruit. En: Revista Agronomía Colombiana, Volumen XXIII N° 2, ISSN 0120-9965, Bogotá
- GALVIS, J. A. 2002. Análisis del crecimiento del fruto de mango (*Mangifera Índica*, L) variedad Van Dyke y estudio de algunos métodos de conservación poscosecha. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Tesis Doctoral. Bogotá.
- GUNES, G., Y LEE, CHANG Y. 1997. Color of minimally processed potatoes modified atmosphere packaging and anti-browning agents. *Journal of Food Science and Technology International*-volume 62, No 3: 572-575
- HUXSOLL C. C., BOLIN H. R. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruit and vegetables. *Food Technology*. 43(2), 123.
- MASIH, L., ROGINSKI, H., PREMIER, R., TOMKINS, B. AND AJLOUNI, S. 2002. Soluble protein content in minimally processed vegetables during storage. *Journal of Food Science and Technology International*. 35 (2002) 697-702
- ROLLE, R. S. Y CHISM, G. W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal Food Qual*. 10: 157-177
- SALISBURY, F. Y ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana. México.
- SEGALL, K. Y SCANLON, M. 1996. Design and Analysis of a Modified-atmosphere Package for Minimally Processed Romaine Lettuce. *Journal American Society HortScience* 121(4): 722-729

SENESI, E., GALVIS, J., AND FUMAGALLI, G. 1999. Quality indexes and internal atmosphere of packaged fresh-cut pears Abatate Fetel and Kaiser varieties. *Journal of Food Science and Technology International* 2: 111-120.

TOVAR, B., GARCÍA, H. Y MATTA, M. 2001. *Journal Food Research International*. 34 (2001) 705-714

WILEY, R. C. 1997. *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Madrid. España. Editorial acriba, 362p