

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS COMBINADOS DE  
DESHIDRATACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE BANANO BOCADILLO  
(*Musa acuminata*)**

**JOYSSY ADRIANA RODRÍGUEZ PINEDA 37007  
EDITH NATALIA MORENO BERGAÑO 64050**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE QUÍMICA  
LABORATORIO DE POSTCOSECHA  
ARMENIA 2005**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS COMBINADOS DE  
DESHIDRATACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE BANANO BOCADILLO  
(*Musa acuminata*)**

**JOYSSY ADRIANA RODRÍGUEZ PINEDA 37007  
EDITH NATALIA MORENO BERGAÑO 64050**

***Trabajo de grado presentado como  
requisito para optar al título de Químico***

***Directora***

***Dr. Magda Ivonne Pinzón Fandiño***

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE QUÍMICA  
LABORATORIO DE POSTCOSECHA**

**ARMENIA 2005**  
**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1. JUSTIFICACIÓN	3
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. ANTECEDENTES	6
3.1. INTERES INTERNACIONAL DEL BANANO BOCADILLO	6
3.2. ESTUDIOS DE DESHIDRATACIÓN	7
4. MARCO TEÓRICO	12
4.1 TECNOLOGÍA DE OBSTACULOS O TECNOLOGIA INVISIBLES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	12
<b>4.2 ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA</b>	<b>14</b>
4.2.1 Actividad de agua	15

	<b>PÁG.</b>
4.3. SECADO O DESHIDRATACIÓN	16
4.3.1. Deshidratación osmótica	16
4.3.2. Secado por aire caliente	17
4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS	21
4.5. ANÁLISIS	22
4.5.1. Determinación de humedad	22
4.5.2. Determinación de densidad aparente	23
4.5.3. Determinación pH	23
4.5.4. Determinación °Brix	24
4.5.5. Actividad de agua ( $a_w$ )	24
4.5.6. Determinación de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles	24
4.5.7. Determinación de componentes volátiles del aroma	24

	<b>PÁG.</b>
4.5.8. Determinación de actividad enzimática (PPO y POD)	27
4.5.9. Determinación del contenido de proteína	30
4.5.10. Análisis sensorial	31
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>32</b>
5.1. MATERIA PRIMA	32
5.2. <i>ESCALDADO</i>	32
5.3. <i>DESHIDRATACIÓN OSMOTICA</i>	33
5.4. <i>DO POR METODOS COMBINADOS DE DAC</i>	33
5.4.1. Peso	34
5.4.2. Humedad	35
5.4.3. Densidad aparente	36
5.4.4. pH.	37
5.4.5. °Brix	37

	<b>PÁG.</b>
5.4.6. Actividad de agua ( $a_w$ )	38
5.4.7. Análisis de azúcares por HPLC	39
5.4.8. Cuantificación de proteínas	40
5.4.9. actividad enzimática PPO y POD	41
5.4.10. Componentes volátiles del aroma	42
5.4.11. Análisis sensorial	46
5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	47
5.5.1. Modelo para análisis de varianza simple	47
5.5.2. Modelo para análisis de interacción de variables	47
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
6.1 EFECTO DEL ESCALDADO COMO RETARDANTE DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA	48
6.2 EFECTO DEL ESCALDADO Y LA AGITACIÓN EN LA D.O	51

	<b>PÁG.</b>
6.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS RODAJAS DE BANANO BOCADILLO FRENTE A LOS TRATAMIENTOS COMBINADOS DO-AC	53
6.4.1 Sólidos solubles y Actividad de agua	53
6.4.2 Análisis composicional (CMs y CMw)	55
6.4.3 Volumen aparente y peso	57
6.4.4 Acido málico y pH	59
6.4.5 Comportamiento de la proteína en los tratamientos de DO-AC	61
6.4.6 Actividad Enzimática: PPO y POD	61
6.4.7 Azúcares	63
6.4.8 Evolución de los componentes volátiles del aroma	63
6.4.9 Análisis sensorial	65
6.4.10 Curva de secado	72
7. CONCLUSIONES	74

	<b>PÁG.</b>
9. BIBLIOGRAFIA	77
GLOSARIO	
ANEXOS	



## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Esquema deshidratador de aire forzado	19
<b>Figura 2.</b> Esquema aparato HPLC	26
<b>Figura 3.</b> Espectrofotometro multicanal de diodos en serie	29
<b>Figura 4.</b> Estufa de circulación forzada	34
<b>Figura 5.</b> Balanza analítica PRECISA Modelo 40SM-200 <sup>a</sup>	34
<b>Figura 6.</b> Balanza de humedad PRECISA 310M Swiss Cuality Precisa Ha	35
<b>Figura 7.</b> Phmetro de penetración Metrohm 6.0226.100 pH 4-9/0-40°C	37
<b>Figura 8.</b> Refractómetro METTLER TOLEDO Refracto 30P	37
<b>Figura 9.</b> DECAGON Paw Kit Water Activity Meter	38
<b>Figura 10.</b> Cromatógrafo de líquidos de alta eficiencia (HPLC) Marca HP 1050	39
<b>Figura 11.</b> Centrifuga IEC-Centra Modelo MP4R	40
<b>Figura 12. a.</b> Homogenizador Marca Hirosagua Airon Works de 18000rpm	41

	<b>Pág.</b>
<b>b. Espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos Hewlet Packard Modelo HP-8453</b>	41
<b>Figura 13. Equipo DES</b>	43
<b>Figura 14. Columna Vigrevx</b>	43
<b>Figura 15. Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas</b>	44
<b>Figura 16. Evolución de la PPO sometido a efecto del escaldado</b>	51
<b>Figura 17. Evolución de la POD sometido a efecto del escaldado</b>	51
<b>Figura 18. Comparación de tratamientos 1,2,3 y 4</b>	52
<b>Figura 19. Comparación de tratamientos 1 y 2</b>	52
<b>Figura 20. Comportamiento de la ganancia de sólidos solubles y la actividad de agua durante la DAC de rodajas de banano bocadillo</b>	54
<b>Figura 21. Comportamiento de la pérdida de agua y ganancia de sólidos solutos durante la DAC de rodajas de banano bocadillo</b>	55

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 22.</b> Comportamiento del volumen aparente durante la DAC de rodajas de banano bocadillo	57
<b>Figura 23.</b> Comportamiento del Peso durante la DAC de rodajas de banano bocadillo	58
<b>Figura 24.</b> Evolución del ácido málico durante la DAC de rodajas de banano bocadillo	60
<b>Figura 25.</b> Comportamiento del pH durante la DAC de rodajas de banano bocadillo	60
<b>Figura 26.</b> Comportamiento de la actividad (a) PPO y (b) POD durante la DAC de rodajas de banano bocadillo	61
<b>Figura 27.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 65°C, durante 120min.	66
<b>Figura 28.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 65°C, durante 180min.	66
<b>Figura 29.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 65°C, durante 240min.	67
<b>Figura 30.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C, durante 120min.	67

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 31.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C, durante 180min.	68
<b>Figura 32.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C, durante 240min.	68
<b>Figura 33.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 75°C, durante 120min.	69
<b>Figura 34.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 75°C, durante 180min.	69
<b>Figura 35.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 75°C, durante 240min.	70
<b>Figura 36.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 80°C, durante 120min.	70
<b>Figura 37.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 80°C, durante 180min.	71
<b>Figura 38.</b> Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 80°C, durante 240min.	71
<b>Figura 39.</b> Curvas de secado de rodajas de banano a diferentes temperaturas	72

**Figura 40.** Derivada de la cinética de DAC en rodajas de  
banano bocadillo a las diferentes  
temperaturas evaluadas.

## **INDICE DE ECUACIONES**

**ECUACIÓN 1.** Actividad de agua

**ECUACIÓN 2.** pH

**ECUACIÓN 3.** Densidad Aparente

## CONVENCIONES

**a<sub>w</sub>**: Actividad de agua

**CMs**: Ganancia de sólidos solubles

**CMw**: Perdida de agua

**DAC**: Deshidratación por aire caliente

**DES**: Destilación-extracción simultanea

**DO**: Deshidratación osmótica

**DO-AC**: Deshidratación osmótica-aire caliente

**GC-MS**: Cromatografía de gases-Espectrometría de masas

**HPLC**: Cromatografía líquida de alta eficiencia

**POD**: Peroxidasa

**PPO**: Polifenoloxidasas

**SG**: Ganancia de sólidos

**UV-VIS**: Ultravioleta- Visible

**E.C. 1.10.3.1**: Código internacional de la PPO

**E.C. 1.11.1.7**: Código internacional de la POD

## INTRODUCCIÓN

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos que ha utilizado el hombre para conservar sus alimentos. El hombre primitivo utilizó la energía solar que calentaba el medio ambiente, para secar sus alimentos al aire libre. Actualmente el secado de frutas y hortalizas es un proceso industrial muy importante en la preservación de la calidad de los productos agrícolas.

El secado al sol permite retirar agua hasta niveles del 15%, que es suficiente en algunos casos. Por este sistema se requiere un espacio bastante grande y los alimentos expuestos al sol son susceptibles a la contaminación y a pérdidas debidas al polvo, los insectos, los roedores y otros factores.

Por las razones anteriores el secado al sol evolucionó a fin de realizarlo en recintos interiores en donde las condiciones pudieran ser controladas en forma más eficiente. Hoy en día el término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo control. Esta eliminación de agua puede ser casi completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de lograr luego, durante la reconstitución, obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. Los niveles de humedad remanente llegan a alcanzar valores de 1 al 5%, según el producto. Por lo general la calidad lograda en la deshidratación es proporcional al costo del proceso aplicado, existiendo sus excepciones. (Camacho, 2000)

Cuando la humedad final que se busca está por debajo de la humedad del aire normal o del medio ambiente, es necesario realizar un proceso controlado de secado utilizando aire calentado por cualquier fuente de energía: solar, eléctrica, por combustión de la madera u otros combustibles derivados del petróleo.

El secado solar controlado (uso de secadores diseñados) es una alternativa barata en regiones tropicales secas. No así en regiones tropicales húmedas, debido al



cambio o aumento repentino de la humedad relativa en el medio ambiente por las lluvias. (Flores del Valle, 2004).

Para la deshidratación existe variedad de procesos controlados en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío y osmosis.

Partiendo de las condiciones de deshidratación osmótica (DO) ya evaluadas de rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*) (Gómez, Lopez, 2004), como son: diámetro de rodajas, concentración del jarabe y tiempo de deshidratación osmótica, se continuó con el proceso de deshidratación por métodos combinados como es secado por aire caliente; teniendo en cuenta el escaldado como tratamiento previo ya que existen reacciones de oscurecimiento que puedan deberse a oxidaciones enzimáticas que producen cambios indeseables. Durante el secado por aire caliente se evaluó la calidad de las rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*), teniendo en cuenta parámetros como el peso, porcentaje de humedad, actividad de agua, densidad, pH, °Brix, azúcares, ácidos orgánicos no volátiles, componentes volátiles del aroma, contenido de proteínas y actividad enzimática.

## 1. JUSTIFICACIÓN

El procesamiento de alimentos por *métodos combinados* brinda una alternativa para el desarrollo de alimentos con un grado mínimo de manipulación cuyas propiedades organolépticas, en algunos casos, permanecen muy cercanas a las del producto fresco (Alzamora *et al.*, 1989).

Algunas de las razones para optar por el secado de frutas deshidratadas osmóticamente conocidas como productos de humedad intermedia (aproximadamente 50% de humedad), son:

- ✓ Por ser las frutas alimentos vitales para la conservación y desarrollo de la especie.
  - ✓ Porque al prolongar la vida útil se aumenta su disponibilidad y consumo.
  - ✓ Porque así se protegen de otras especies que también compiten por su consumo.
  - ✓ Porque facilita alimentar de manera variada a amplias poblaciones aún alejadas de los sitios de cultivo en forma simultánea.
  - ✓ Por ser fuente de seguridad nacional, de trabajo para personas de diferente grado de capacitación y de amplias posibilidades de mercadeo a nivel nacional e internacional.
  - ✓ Porque le ahorran tiempo y esfuerzo al consumidor y a la vez le dan placer y bienestar.
  - ✓ Porque es posible aplicar técnicas de conservación que le mantienen su alta calidad sensorial y nutricional a costos razonables.
  - ✓ Porque permite estabilizar el suministro y los precios de los diferentes vegetales estacionales.
  - ✓ Porque permite disponer en cualquier lugar y en cualquier momento de cantidades suficientes de los alimentos sometidos a conservación.
- (Camacho, 2002)

Para obtener un producto final estable es necesario disminuir la humedad hasta valores por de bajo del 10%, por lo tanto resulta razonable en términos económicos utilizar el secado por aire caliente para estabilizar las rodajas de banano bocadillo como método complementario de deshidratación denominado deshidratación osmótica por métodos combinados con aire caliente (DO-AC).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar los cambios del comportamiento físico-químico de las rodajas de banano bocadillo, *Musa acuminata*, durante la deshidratación osmótica por métodos combinados, realizando análisis cualitativos, cuantitativos e instrumentales.

## **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

2.2.1. Analizar el efecto del escaldado como retardante de la oxidación enzimática de las rodajas de banano bocadillo, *Musa acuminata*.

2.2.2 Verificar la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica preestablecido (concentración jarabe 65°Brix, tiempo 300 min. y rodajas de 2 mm espesor), frente a los cambios planteados: escaldado previo de la fruta y deshidratación osmótica con agitación del jarabe

2.2.3. Evaluar el comportamiento de las rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*) deshidratadas osmóticamente, durante el proceso de deshidratación por aire caliente, respecto a pérdida de peso y ganancia de sólidos (peso,  $a_w$ , humedad y °Brix)

2.2.4. Analizar la calidad físico-química: grados Brix, pH, ácidos orgánicos, contenido de proteínas, actividad enzimática PPO y POD, componentes volátiles del aroma, de las rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*), durante la deshidratación osmótica por métodos combinados.

## **3. ANTECEDENTES**

### **3.1 INTERÉS INTERNACIONAL DEL BANANO BOCADILLO**

El banano bocadillo colombiano compite en Europa con el producto procedente de Costa de Marfil y Kenia y, esporádicamente, con proveedores como México y Venezuela. El precio del banano bocadillo procedente de los países africanos es inferior al del producto colombiano por efecto del menor costo en fletes y por la

calidad inferior del producto. Actualmente se está experimentando el envío de producto por vía marítima para reducir costos de transporte y ofrecer mayor competitividad frente a los países africanos. Los embarques enviados por esa vía desde Colombia han permitido, hasta ahora, tener precios más competitivos frente a los del producto procedente de Costa de Marfil.

Colombia ha mantenido, entre 1997 y el 2001, una oferta permanente en los mercados de Alemania y Francia, mientras que en el mercado de Holanda lo ha hecho a partir del año 1998. Para el año 2001 los precios del banano bocadillo en los tres mercados se situaron alrededor de los 4,5 dólares por kilo aunque los precios promedio más altos se registraron en el mercado alemán (5 US\$/Kg) y los más bajos en el holandés (4,6 US\$/Kg).

Los precios del banano bocadillo colombiano presentan una tendencia decreciente en los mercados de Alemania y Holanda, mientras que se mantienen estables (alrededor de 4,8 US\$/Kg promedio) en el mercado francés. En efecto, el precio promedio en Alemania pasó de 5,2 US\$/Kg en 1997 a 4,5 US\$/Kg en el año 2000 y a 4,7 US\$/Kg en los cinco primeros meses del año 2001. Para Reino Unido el precio promedio pasó de 4,7 US\$/Kg en 1997 a 4,2 US\$/Kg a principios del 2001. En Francia también cayó, aunque levemente, pasando de 5,02 US\$/Kg promedio en 1997 a 4,46 US\$/Kg en el 2000 y 4,5 US\$/Kg promedio en los primeros meses del 2001.

La relativa estabilidad en los precios del mercado francés se explica por las estrategias de comercialización desarrolladas por los exportadores colombianos que han ofrecido un precio estable a lo largo del año, de manera que en la época de invierno los comerciantes puedan lograr mayores márgenes de utilidad y compensen los márgenes más bajos de los meses de verano cuando la abundante oferta de fruta local hace bajar los precios de las demás frutas. Dichas estrategias se han desarrollado también con el fin de evitar una disminución significativa en la

demanda de bananito durante el verano. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombia Internacional, 2002)

### **3.2 ESTUDIOS DE DESHIDRATACIÓN**

Se han realizado estudios del comportamiento de secado con aire en tajadas de banano fresco y osmóticamente deshidratado; donde las tajadas de banano fueron cortadas con un espesor de 1 cm. y tratadas en solución de azúcar a 35, 50 y 65 °Brix durante 36 horas. Teniendo en cuenta la humedad inicial, el contenido de sólidos solubles totales y las temperaturas de secado; obteniéndose resultados sobre la pérdida de la humedad de las rodajas de banano en el tratamiento y la pérdida de azúcar en el agua. Los cambios físicos y químicos en la fruta durante la ósmosis causaron diferencias en el secado tanto del banano osmóticamente deshidratado como en el fresco. (Clemen K. et al., 1996)

También se realizó el estudio de las cinéticas de secado con aire caliente de zanahoria en rodajas escaldadas. Las mejores condiciones del ensayo fueron utilizadas con rodajas de zanahoria sin escaldar con el fin de evaluar el efecto de este tipo de pretratamiento. Se evaluaron diferentes temperaturas de aire de sacado (60, 70 y 80°C), humedades relativas de aire (12 y 55 g de agua/Kg de aire seco) y velocidad de aire (0.5, 1.5 Y 2.1 m/s). Se encontró un importante efecto de la temperatura en el proceso de secado. A alta temperatura el proceso puede acelerarse sin embargo la calidad sensorial se puede ver modificada. Se observó una mayor uniformidad e intensidad en el color de las zanahoria que fueron escaldadas antes de la deshidratación. Finalmente se encontró que el escaldado de la zanahoria en rodajas favorece la deshidratación debido a un incremento de la cinética de secado. Se establecieron finalmente las mejores condiciones para este proceso. (Rodríguez, A, Fito, P, 1998)

En un reciente estudio se analizó el efecto de la deshidratación osmótica con soluciones de sacarosa y el escaldado como pretratamientos sobre la calidad de mango almacenado en congelación (Ayala, 2000). La conservación por congelación del mango puede mejorarse mediante la combinación de algunos pretratamientos como el escaldado, deshidratación osmótica, impregnación a vacío con soluciones adecuadas, etc, que reducen el agua congelable, mejorando la calidad del producto congelado.

El comportamiento reológico de manzana y banano deshidratados osmóticamente fueron analizados por Krokida et al,2000. Se evaluó la compresión y relajación de la fruta en los dos tratamientos. La osmodeshidratación y la consecuente ganancia de azúcar permitieron el incremento de la viscosidad natural de las frutas y la disminución de la elasticidad, produciendo plasticidad en la estructura.

Se realizó un estudio sobre la influencia de la osmodeshidratación en las características de color y sorción de cilindros de banano y manzana previamente tratados osmóticamente, y secos con aire a 70 °C. Las frutas no tratadas osmóticamente presentaron un alto oscurecimiento evaluado en términos de una significativa disminución de la luminosidad, un incremento del rojo y de amarillo. Las muestras pretratadas osmóticamente no se oscurecieron tanto como las muestras no tratadas y su luminosidad disminuyó muy levemente, así como el incremento al rojo y al amarillo aumentaron muy poco. Se indica que la osmodeshidratación previno daños de color y disminuyó la capacidad de sorción de los frutos deshidratados.

En el trabajo realizado por Escandell y otros (2001) se estudió la contracción que tiene lugar durante el secado por aire caliente de cilindros de manzana. Se empleó como materia prima manzanas Granny smith. Se realizaron secados a temperaturas comprendidas entre 40 y 70°C y velocidades que varían desde 1 y 4

m/s en un secadero convectivo. Para medir el volumen se utilizaron tres métodos: medida directa, mediante calibre, inmersión en un fluido y análisis de imagen. Se obtuvo una relación lineal entre la contracción volumétrica y la humedad de la manzana durante su secado. También se observó que las pendientes de dichas relaciones eran afectadas por los parámetros de temperatura y velocidad del aire de secado. Además se dedujo que un aumento de la temperatura o velocidad del aire de secado provocaba un aumento de contracción volumétrica. Al comparar los distintos métodos de medida del volumen se observó que con el análisis de imagen se obtenían valores superiores que con el método de inmersión en un fluido. Los métodos de medida directa con pie de rey inmersión en un fluido ofrecen resultados similares.

En el secado por aire caliente del fruto *Capsium annum L. var annum* o pimiento rojo se inició con una temperatura de 80°C por el alto contenido de agua de este, sin embargo a medida que el fruto va perdiendo humedad pueden producirse degradaciones de los pigmentos rojos y amarillos y aparición de pigmentos pardos hidrosolubles, por lo que la temperatura no debe sobrepasar los 75°C. (Nuez., et al, 2001)

A nivel comercial uno de los parámetros de calidad de mayor importancia es el color, por tal razón se realizó un estudio del comportamiento del color rojo en cubos de pimiento (*Capsium annum L*) durante el proceso de deshidratación por aire caliente, efectuando ensayos a diferentes temperaturas (60, 65, 70 y 75°C) y velocidad de aire de 2.5 m/s. El color extraíble se determinó según una técnica basada en la extracción con acetona de los carotenoides y otros compuestos liposolubles y posterior medida de la absorbancia a 460nm. Con esto Vega, A y Fito, 2001, concluyeron que la pérdida de color rojo del pimiento en cubos en el proceso de secado está más afectada por el tiempo de tratamiento que por la temperatura de secado.



Merino (2002) elaboró laminas de manzana y murta sometiénolas a escaldado a 90°C durante 4 minutos en ollas de acero inoxidable, despulpándolas, posteriormente las deshidrató a 55°C bulbo seco y 40°C bulbo húmedo y se utilizó aire seco con un 50% de aire en recirculación, a una velocidad de 7 m/s; obteniendo láminas con 10% de humedad.

Dentro de los diferentes métodos de conservación de alimentos, el congelado se considera el más simple y natural, debido a las características de calidad organoléptica y nutricional del producto, muy similares a la materia prima de la cual provienen. Una etapa crítica que determina la calidad de los vegetales congelados es el escaldado; el cual involucra calentamiento (70-105 °C) y dependiendo de la forma final del producto, puede llenar ciertos requisitos. Estos son: inactivación enzimática, coagulación de proteínas, remoción del aire dentro de los tejidos, estabilidad del color, facilidad en la selección y disminución de la carga microbiana. En esta investigación se evaluó el efecto del tiempo de escaldado (1, 2, 3 min.) a 70 °C, y la concentración de quitosano (0.1, 0.2 y 0.3 % (p/v)), sobre la calidad de nopal verdura congelado. Se emplearon pencas de *Opuntia ficus-indica* de la variedad Copena V1, las cual fue previamente desespinadas a mano y troceadas en tiras de 1.5 x 15 cm, posteriormente se escaldó y congeló por 5 min, en un congelador de gabinete utilizando N<sub>2</sub> líquido como medio de enfriamiento. Finalmente se empacó en bolsas comerciales de polietileno y se almacenó durante 6 meses a -20 °C.

Aunque en la mayoría de las variables analizadas se observó un aumento con relación a la materia prima utilizada; éstas, prácticamente resultaron dentro de un rango aceptable. En relación con la actividad enzimática de polifenoloxidasas, se observó una reducción total debido a las condiciones evaluadas; sin embargo, peroxidasa logró mantenerse en un valor mínimo de 3 % de actividad específica remanente. Se concluye que los tratamientos realizados, mantuvieron la calidad del producto en la mayoría de los atributos evaluados. (Robles, et al., 2002)

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 TECNOLOGÍA DE OBSTACULOS O TECNOLOGIA INVISIBLES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS**

Existe una gran diversidad de métodos tradicionales y artesanales para la preservación de alimentos. Un análisis simple de estos métodos revela que la eficacia de los mismos depende en gran medida, del uso de múltiples medios para la inactivación o la inhibición de los microorganismos contaminantes. La mayoría de estas tecnologías fueron derivadas empíricamente. Sin embargo, desde la

década de los ochenta ha sido posible desarrollar un enfoque sistemático sobre la base de cada vez un mejor conocimiento y comprensión de los principios básicos sobre los que se fundamentan las metodologías de preservación combinada, tales como  $a_w$ , pH, potencial de oxidación-reducción. Esto ha conducido al establecimiento del concepto de “tecnología de barreras”, también llamada de “obstáculos”, en inglés “hurdle technology” o tecnologías invisibles.

En la tecnología de obstáculos o de barreras se combinan inteligentemente factores de conservación que representan obstáculos para el crecimiento microbiano, ya que interactúan aditivamente o sinérgicamente, permitiendo obtener estabilidad durante el almacenamiento. Al aplicar los factores en dosis bajas se logra tener un efecto antimicrobiano mayor, con una pérdida de calidad sensorial menor que si se aplicara un solo factor en forma severa para lograr el mismo fin. Al utilizar esta preservación multiobjetivo en un alimento se logra interferir en la homeostasis de microorganismos, por la acción de niveles pequeños de factores de conservación u obstáculos, los cuales usados en combinación, tienen cada uno un efecto adverso en determinados sitios de la célula microbiana (Alzamora y col., 1998). Es claro que esta tecnología busca deliberada e intencionalmente que la combinación de obstáculos sea tal que se asegure la estabilidad e inocuidad microbiológica de un alimento, además de preservar propiedades sensoriales, nutricionales y económicas (Leistner y Gould, 2002; Leistner, 2000; Alzamora y col., 1998). El concepto es relevante tanto para el control de microorganismos patógenos como del deterioro, y para la gran mayoría de los alimentos.

La tecnología de barreras ha sido empleada tradicionalmente en todos los países del mundo, aunque con énfasis muy diferentes, dependiendo de la historia y de las características sociales de diferentes culturas y de su desarrollo. Así, en los países industrializados la gran disponibilidad de refrigeración ha permitido el predominio de una variedad de productos con procesos térmicos leves, alimentos refrigerados y congelados. Por otro lado, en países en desarrollo, el énfasis se ha

ubicado a veces en alimentos estables a temperatura ambiente, que tienen requerimientos energéticos mínimos para el procesamiento, almacenamiento y distribución.

Las barreras u obstáculos más comúnmente usados en la preservación de alimentos son temperatura, (alta o baja), actividad de agua ( $a_w$ ), acidez (pH), potencial redox (Eh), preservantes (Ej. nitritos sorbatos, sulfitos), y microorganismos competitivos (e.j. bacterias ácido lácticas). Sin embargo, se han descrito más de 60 “barreras” potenciales, de origen animal o vegetal, para ser usadas en alimentos, que pueden mejorar la estabilidad y/o calidad de los alimentos. La lista de “barreras” no termina de estar completa. La combinación de estos factores ha permitido conservar alimentos tradicionales y también ha originado una nueva generación de productos refrigerados. En la actualidad metodologías de preservación novedosas, especialmente procesos físicos no térmicos (alta presión hidrostática, termo-manosonicación, campos magnéticos oscilantes, pulsos de campos eléctricos, pulsos de luz, etc.) están recibiendo mucha atención ya que en combinación con otras barreras convencionales, son de uso potencial para la estabilización microbiológica de productos frescos o de carácter fresco, siendo efectivos para inactivar células vegetativas de muchos microorganismos, aunque las formas esporuladas presentan mayor resistencia, con poco detrimento de sus propiedades sensoriales y nutricionales. (Alzamora y col., 1998). Este tipo de métodos no generan cambios químicos en el producto, no provocan pérdidas de sabor y los productos mantienen sus propiedades de frescura debido a que el incremento de temperatura es mínimo (Tapia y col., 1996). Con estos procesos, generalmente se espera obtener productos no estériles, en los que se ha logrado una reducción de la carga microbiana y el crecimiento de los microorganismos residuales es inhibido por barreras convencionales adicionales. Otro grupo de barreras que son en la actualidad de interés especial tanto en países industrializados como en desarrollo, son las sustancias preservantes naturales (especies y sus extractos, extractos de lúpulo,

lizosima quitosano, protamina, hidrolizados de pectina, etc.) En muchos países se prefieren estos preservantes “verdes” porque no son productos químicos sintéticos.

## **4.2 ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA**

Son alimentos que pueden consumirse sin necesidad de rehidratarse y no necesitan refrigerarse para su conservación. Tiene suficiente humedad para no ser secos al gusto, pero suficientemente baja para tener una vida útil adecuada. Tienen una  $a_w$  de entre 0.65 y 0.86. No son aptos para el crecimiento de bacterias pero si para el de hongos y levadura, lo cual se evita añadiendo ciertos aditivos como sorbatos, benzoatos o empaques adecuados.

También se sabe que muchos alimentos con aditivos como vitaminas y pigmentos alcanzan mayor estabilidad a humedad intermedia. Otra forma de reducir la  $a_w$  es agregando solutos como sales o azúcares, ácidos que también cambian el pH de desarrollo microbiano. La cantidad que se adiciona depende más bien de que no se altere mucho el sabor de los alimentos puesto que para alcanzar las  $a_w = 0.9-0.86$ , el alimento sería tan salado, o tan dulce que no se podría comer, por lo que se hace una combinación de aditivos y de métodos para reducirlos. Algunas son antimicrobianas como los polietilenglicoles logrando una doble acción.

Para preparar un alimento de humedad intermedia hay 3 pasos:

- a) Disminuir la actividad de agua
- b) Adicionar un agente antimicrobiano según el tipo de alimentos
- c) Adicionar agente químicos para tener la estabilidad y la calidad sensorial deseada

El pH ácido disminuye la actividad microbiana, y el aumento de temperatura aumenta la  $a_w$ , esto debe tomarse en cuenta para el empaque y almacenaje.

([www.Members.Fortunecity.es/iqtaniagh/AcAg\\_5.htm](http://www.Members.Fortunecity.es/iqtaniagh/AcAg_5.htm))

#### **4.2.1 Actividad del agua ( $a_w$ )**

La actividad de agua es la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y la actividad química, describe también la humedad relativa de una mezcla de aire-vapor de agua.

Esta propiedad viene definida por la ecuación (1)

$$a_w = p_v/p_w \quad (1)$$

El conocimiento de las características de sorción de un alimento facilita la predicción de su vida útil. Este dato permite también predecir los tiempos de secado y la energía necesaria para un proceso de este tipo.

En el diseño de los sistemas de secado por aire caliente, no se puede disminuir la riqueza en agua del producto por debajo de la que tiene cuando se halla en equilibrio con el aire utilizado para el secado. Para secar hasta contenidos en agua muy bajos, hay que suministrar más energía que el calor latente de vaporización.

#### **4.3 SECADO O DESHIDRATACIÓN**

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por

evaporación hacia la fase gaseosa, con base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa. (Kasatkin, 1985)

#### **4.3.1 Deshidratación osmótica**

Es una técnica de conservación de alimentos por factores combinados o tecnología de obstáculos; se basa en el aprovechamiento sinérgico de dos o más factores de conservación con objeto de prolongar la vida útil de los alimentos utilizando métodos menos drásticos, que brinden productos estables y listos para su consumo con un mínimo deterioro de los atributos sensoriales del alimento fresco.

La osmodeshidratación es actualmente uno de los procedimientos más usados para poner en práctica esta tecnología de obstáculos. Está basada en los flujos osmóticos que se establecen al introducir un alimento sólido en una solución de alta concentración de sacarosa, obteniéndose un producto con menor actividad de agua debido al flujo de agua libre desde el alimento a la solución osmótica, así como una mayor concentración de azúcares procedentes de la solución. Se ha demostrado que con la osmodeshidratación se consiguen cinéticas de deshidratación más rápidas debido al mecanismo de transferencia de materia denominado “mecanismo hidrodinámico” que tiene lugar cuando un alimento poroso se sumerge en el seno del líquido (García, et al., 1994) y ocurre el proceso de ósmosis que se da cuando una membrana semipermeable separa una disolución de una macromolécula del agua pura y el agua atraviesa la membrana y penetra en el comportamiento que contiene el soluto. Ello refleja la tendencia del

agua a desplazarse en cualquier dirección, lo que determina que su actividad termodinámica sea uniforme por todas las partes del sistema accesibles a ella.

La presión osmótica es la fuerza que debe aplicarse para contrarrestar la fuerza del flujo osmótico. La presión osmótica es una de las propiedades coligativas de las disoluciones; depende del número de partículas de soluto por unidad de volumen, pero es independiente de la naturaleza molecular del soluto y de la forma de sus partículas. En el equilibrio las macromoléculas se hallan uniformemente distribuidas con libertad a través de todo el sistema. El desplazamiento de las moléculas de soluto provocado por un gradiente de concentración se llama difusión (Lehninger, 1982), donde se origina un flujo irreversible de materia de las altas concentraciones a las bajas. La difusión tiende a devolver el sistema a su estado de equilibrio de concentración constante. La primera ley de Fick nos dice que el flujo difusivo que atraviesa una superficie es directamente proporcional al gradiente de concentración. (Mortizz, 2002).

#### **4.3.2. Secado por aire caliente**

El aire es usado para secar por su abundancia, su conveniencia, además permite ser controlado evitando así un sobrecalentamiento del alimento y posibles pérdidas de textura y color en el alimento. Con el aire no se necesita ningún sistema de recuperación de humedad elaborado como con otros gases.

La función del aire en el secado es que éste conduce calor al alimento causando que el agua vaporice y es el vehículo para transportar el vapor húmedo liberado del alimento que se está deshidratando.

Las técnicas de deshidratación se pueden clasificar de acuerdo con el principal mecanismo de suministro de calor:



Por convección: atomización lecho fluidizado, tambor rotatorio, neumático y aire caliente.

Por conducción: Rodillos, a vacío, banda.

Por irradiación. A vacío, liofilización.

El Mecanismo de deshidratación consiste en que el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor. El agua escapa de la superficie de los alimentos por los siguientes mecanismos:

1. Por capilaridad.
2. Por difusión, provocada por las diferencias en las concentraciones de solutos entre las distintas partes del alimento.
3. Por difusión del agua, absorbida en diversas capas sobre las superficie de los componentes sólido del alimento.
4. Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de vapor existente en el interior del alimento. (Desroisier, 1986)

Las Normas generales de deshidratación por aire caliente de alimentos son:

- ❖ la velocidad de flujo del aire será grande en las fases iniciales, cuando el aire se evapora libremente, pero, salvo en las deshidratadoras de tipo impelente, será insuficiente para empujar el material que va a desecarse.
- ❖ En las fases iniciales de la deshidratación de hortalizas se trabajara a temperaturas del bulbo seco de 90-100 °C si la temperatura del bulbo húmedo puede mantenerse baja, preferentemente a no más de 50 °C. esto determina una rápida evaporación del agua del alimento que permanece, aproximadamente, a la temperatura del bulbo húmedo, debido al enfriamiento evaporativo, por lo que no tiene lugar daño térmico alguno. Si

la temperatura es excesiva, las velocidades de evaporación son muy altas lo que causa cambios de textura en el alimento.

- ❖ En las últimas fases de la deshidratación (a unos contenidos de humedad menores del 15%), la velocidad de migración del agua a la superficie de las piezas o trozos es muy lenta y se necesitan una desecación muy prolongada a temperatura relativamente baja (55°C o menos) para llevar el contenido de humedad a menos del 6%. (Ranken, 1993)

Existen muchos tipos de secadores en la deshidratación de alimentos, la selección de un tipo en particular es guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación. (Figura 1)

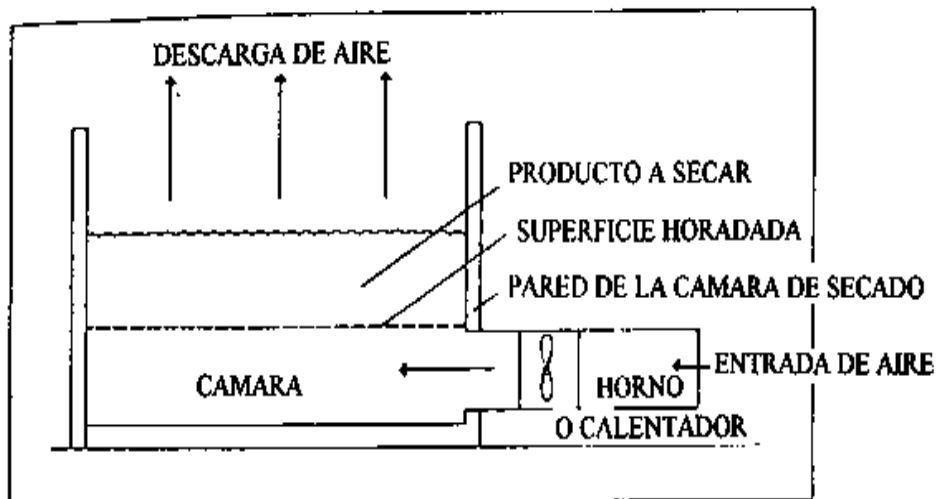


Figura 1. Deshidratador de aire forzado. (FAO. 1985)

#### 4.3.2.1 Curva de secado de los alimentos

Entre los datos obtenidos en una experiencia de secado se encuentra la determinación de la curva de secado del alimento. Esta consiste en determinar

periódicamente el contenido de humedad del producto con el tiempo de secado y graficando en un sistema coordenado de la forma  $X_w$  (contenido de la humedad del material) frente a  $t$  (tiempo transcurrido desde el inicio de la operación de secado).

Se observan tres zonas características, claramente diferenciadas, en una curva típica de secado (Fito et al, 1998):

- Zona A. La curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción. En esta etapa comienza el proceso de secado. El producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado.
- Zona B. LA curva adopta pendiente constante denominándose periodo de velocidad de secado constante.

La velocidad con la cual se elimina el agua de la superficie del sólido, es menor que la velocidad con la que llega a ella desde el interior del mismo. De este modo la superficie del material se mantiene constantemente humedad y su comportamiento es como el de una masa líquida. Por ello la velocidad de secado en este periodo, es la de evaporación del agua, que a su vez, será proporcional a la velocidad de flujo de calor. En dichas condiciones, la temperatura de la interfase será constante y el calor que llega al sólido se invertirá, en su totalidad en la evaporación del líquido.

El sólido se va secando, a medida que pasa el tiempo, y llega un momento en que la velocidad con la que el agua llega a la superficie, se hace menor que la velocidad de evaporación. A partir de este momento, parte del calor que lleva el sólido, se invierte en calentarlo. En dicho instante, el contenido de humedad del producto se denomina como humedad crítica ( $X_{wc}$ ).

- Zona C. La pendiente disminuye con el tiempo, se denomina periodo de velocidad de secado decreciente o variable. La humedad del producto en

este periodo sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio ( $X_{we}$ ). En algunos casos, el comportamiento puede ser más o menos lineal. Debemos reseñar que en los materiales con humedades iniciales bajas, el secado transcurre, en todo momento, con velocidad de secado decreciente.

La pendiente de la curva de secado ( $dX_w/dt$ ), nos da la velocidad de secado (Velocidad con que disminuye la humedad del producto durante el proceso) (Raussell, et al; 2001)

#### **4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS**

El secado de los alimentos afecta generalmente el contenido de agua, las propiedades físicas, químicas y biológicas, tales como la actividad enzimática, deterioro microbiano, textura, viscosidad, dureza, aroma, gusto y sabor.

A demás la estabilidad de los alimentos está relacionada con la actividad de agua ya que las células vivas son sensibles al contenido de agua en sus alrededores, la actividad de los microorganismos para crecer y producir toxinas está relacionado con la  $a_w$  del medio además los tratamientos cortos de calor tales como el escaldado de verduras y frutas crudas se utilizan para inactivar enzimas. Se puede reducir la producción de pigmentos oscuros, de gases y reducción del volumen.

De otro lado las reacciones no enzimáticas más comunes en alimentos con bajo contenido en humedad son las reacciones de pardeamiento, como son la caramelización y la reacción de Maillard. Este pardeamiento puede ser deseable o indeseable. Evitando este tipo de reacciones se evita la pérdida de nutrientes esenciales tales como los aminoácidos y azúcares que participan en esta

reacción. Además la velocidad de reacción de la oxidación lipídica de los alimentos está en relación con la  $a_w$ , para valores bajos de  $a_w$ ; la reacción tiene lugar lentamente, para valores altos por encima del valor asociado a la monocapa la velocidad aumenta.

## **4.5 ANÁLISIS**

### **4.5.1 Determinación de humedad**

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. En los tejidos animales o vegetales, puede decirse que el agua existe en dos formas generales: agua libre y agua ligada. El agua libre o adsorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad y es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo del contenido de agua. El agua ligada se halla combinada o absorbida, se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas, a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales; y requiere para su eliminación en forma de vapor, un calentamiento de distinta intensidad. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a temperaturas de carbonización.

Uno de los métodos utilizados para la determinación de la humedad es el Método de desecación con la balanza de humedad, basado en la determinación del porcentaje de humedad mediante el uso de una balanza que tiene acoplada una fuente de rayos infrarrojos, que proporciona el calor necesario para desecar la muestra. Requiere de la realización de una curva de calibración para cada producto en particular que permite el análisis rápido, de ello se obtiene el tiempo y temperatura más adecuada para la muestra. Existe un gran número de

procedimientos y aparatos de secado. La deshidratación puede efectuarse a presión atmosférica o bajo vacío y que la transferencia de calor se haga por convección, conducción o radiación. Los más empleados son los que utilizan aire caliente y concretamente el secado por atomización. (Hart, et al., 1991).

#### **4.5.2 Determinación de densidad aparente**

Se usó el método del picnómetro que consiste en determinar la capacidad exacta del picnómetro por pesada cuando esta lleno y vacío de agua destilada a 20°C. Los trozos de fruta se colocan en el picnómetro con fluido suficiente para cubrir la muestra, se pesa y se calcula la densidad. (Lewis. 1993)

#### **4.5.3 Determinación de pH**

El pH de una solución acuosa puede definirse como el logaritmo vulgar o decimal de la concentración de ion hidrógeno. (Fischer; et al, 1971). Se calcula mediante la ecuación (2)

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+] \quad (2)$$

#### **4.5.4 Determinación de ° Brix**

El contenido de sólidos solubles, se expresa en porcentaje de sacarosa. se determina por el método refractométrico y se expresa como porcentaje de sólidos solubles o ° Brix. (Meyer, et al., 1983)

#### **4.5.5 Actividad de agua $a_w$**

Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad de agua ( $a_w$ ). La  $a_w$  de un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la extracción del agua o mediante la adición de solutos. Algunas moléculas del agua se orientan en torno a las moléculas del soluto y otras quedan absorbidas por los componentes insolubles de los alimentos. En ambos casos, el agua queda en una forma menos reactiva. Varios métodos de conservación utilizan estos conceptos. La deshidratación osmótica es un método de conservación de los alimentos basado en la reducción de la  $a_w$ , lo que se consigue eliminando el agua de los productos y ganando sólidos solubles. (Von der Becke, 1999)

#### **4.5.6 Determinación de azúcares y ácidos orgánicos no volátiles**

La cromatografía líquida de alta eficacia es la técnica analítica de separación más ampliamente utilizada por su sensibilidad, su fácil adaptación a las determinaciones cuantitativas exactas, su idoneidad para la separación de especies no volátiles o termolábiles y, sobre todo, su gran aplicabilidad a sustancias que son de primordial interés en la industria y en muchos campos de la ciencia. Algunos ejemplos de analitos evaluados por ésta técnica incluyen: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hidrocarburos, carbohidratos, fármacos, sustancia inorgánicas, etc.

Un aparato moderno de HPLC está equipado con uno o más recipientes cada uno de los cuales contiene un eluyente, los recipientes a menudo se equipan con un sistema para eliminar los gases disueltos que interfieren formando burbujas en la columna y en los sistemas de detección; estas burbujas pueden eliminarse por

medio de un desgasificador o sistema de purga que arrastran los gases disueltos fuera de la solución mediante finas burbujas de un gas inerte de baja solubilidad, también contienen un dispositivo para la filtración del polvo y las partículas sólidas en suspensión en los disolventes. Los disolventes se mezclan en una válvula para ser enviados a un sistema de bombeo con unos requisitos rigurosos como: la generación de presiones por encima de 6000 Psi, un flujo libre de pulsaciones, un intervalo de caudales de 0.1 a 10 mL/min, el control y la reproducibilidad del caudal y componentes resistentes a la corrosión. Este control de caudal se hace por medio de dispositivos controlados por computador que permiten medir el caudal mediante la determinación de la caída de presión a través de un restrictor colocado en la salida de la bomba.

La inyección de la muestra se puede hacer de forma manual o por medio de un auto muestreador. La muestra se inyecta directamente en el relleno de la cabeza de la columna.

Las columnas para HPLC tienen una longitud entre 10 y 30 cm por lo común, las columnas son rectas, el diámetro interno de las columnas es a menudo de 4 y 10 mm y los tamaños de las partículas de los rellenos más comunes son 5 a 10  $\mu$ m. En cromatografía líquida se utilizan dos tipos básicos de rellenos, pelicular y de partícula porosa; las partículas son de sílice, alúmina, de una resina sintética de poliestireno - divinilbenceno o resinas de intercambio iónico, aunque la sílice es el material de relleno más común en cromatografía líquida.

Existen varios tipos de detectores como el de índice de refracción que provoca una variación de señal de salida por un cambio en el índice de refracción, la cual, una vez amplificada y registrada, proporciona el cromatograma. (Figura 2)(Skoog, et al, 2001).



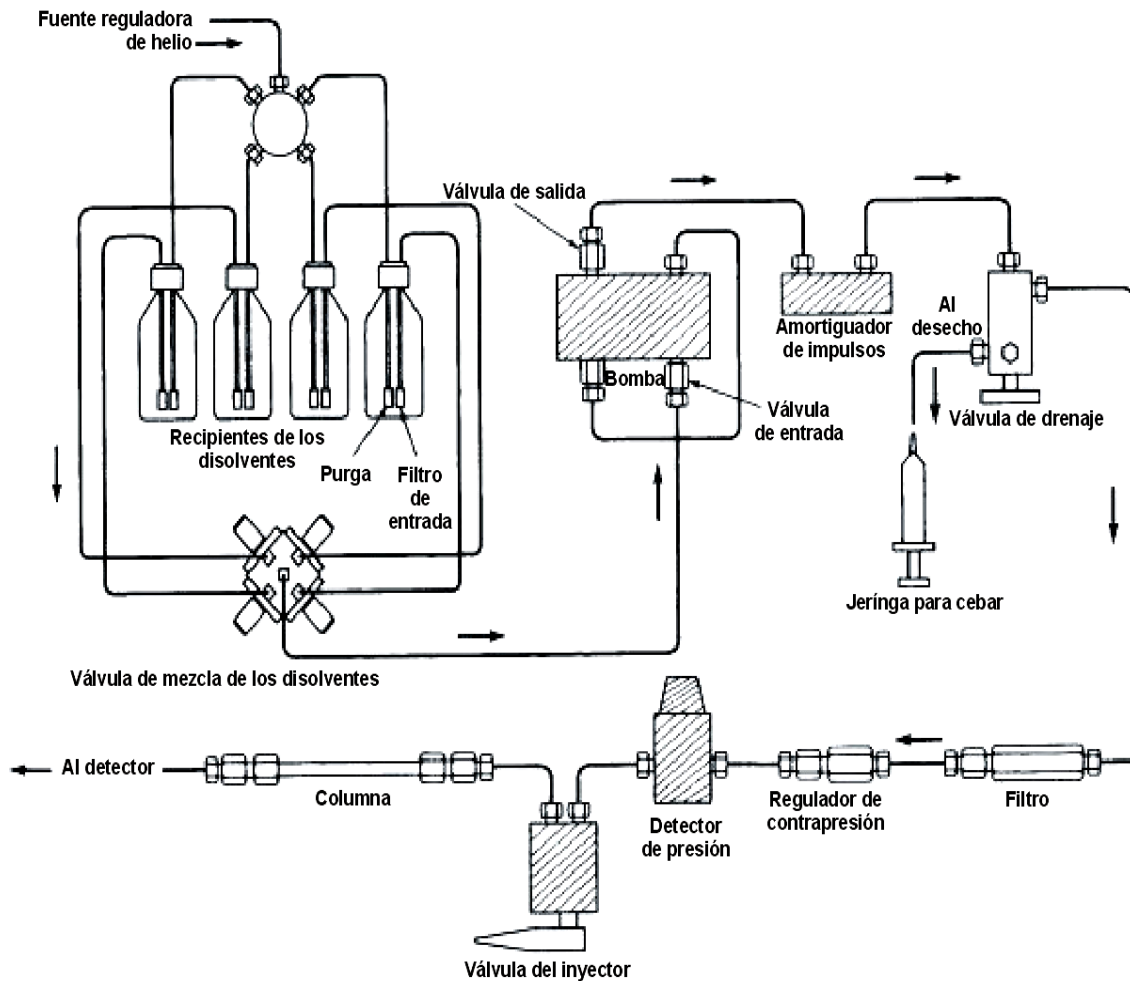


Figura 2. Esquema de un aparato de HPLC. (Skoog, et al, 2001)

#### 4.5.7 Determinación de componentes volátiles del aroma

Para la obtención de los constituyentes volátiles responsables del aroma se emplea la técnica de Destilación–Extracción Simultánea (D.E.S.), utilizándose de dos procesos, la destilación y la extracción con solvente orgánico simultáneamente; ofrece también extracciones cuantitativas de los compuestos de interés en un proceso simple, al igual que ayuda a extraer el aroma secundario de

las frutas, que es aquel que se forma durante el consumo o procesamiento de las mismas. La separación de los componentes volátiles de dicha fracción se realizara por cromatografía de gases. La identificación de dichos componentes se lleva a cabo por comparación de sus tiempos de retención con los de sustancias patrones. Para corroborar y ampliar esa identificación se podrá utilizar la espectrometría de masas. (Skoog, et al, 2001)

#### **4.5.8 Determinación de actividad enzimática PPO y POD**

Las enzimas químicamente son proteínas muy potentes y eficaces que actúan como catalizadores; las enzimas participan en las reacciones en pequeñas cantidades y se recuperan indefinidamente. No llevan a cabo reacciones que sean energéticamente desfavorables, no modifican el sentido de los equilibrios químicos, sino que aceleran su consecución. La acción enzimática se caracteriza por la formación de un complejo que representa el estado de transición. El sustrato se une a la enzima a través de numerosas interacciones débiles como son: puentes de hidrógeno, electrostáticos, hidrófobos, etc., en un lugar específico, el centro activo. Este centro es una pequeña porción de la enzima, constituido por una serie de aminoácidos que interaccionan con el sustrato. ([www.arrakis.e/~lluengo/enzimas.html](http://www.arrakis.e/~lluengo/enzimas.html)).

La peroxidasa y la polifenoloxidasas son enzimas que están implicadas en los procesos que conducen al desarrollo de las características organolépticas que determinan la calidad de las frutas (Carballo, 1989).

La POD es una oxidasa que presenta gran actividad en los tejidos vegetales, interviene en la síntesis del etileno y por tanto participa en el control de la actividad respiratoria, en la madurez y senescencia y en los cambios asociados a ella.

Desde el punto de vista de la fisiología del fruto, diferentes autores relacionan la actividad enzimática POD con el desarrollo de aromas extraños durante el almacenamiento, cambios de color y pérdida de ácido ascórbico.

La enzima PPO es también una oxidasa que participa en la cadena respiratoria, aunque su papel como oxidasa terminal no está claro. Es más importante el papel que juega en la resistencia de los tejidos vegetales a los ataques microbianos, infección viral y a las temperaturas adversas. Debido a la acción oxidativa de PPO sobre diferentes sustratos que originan compuestos secundarios que actúan como barrera en las vías de difusión de la infección.

En cuanto a la fisiología del fruto la actividad PPO está directamente relacionada con el pardeamiento enzimático, debido a que es una de las enzimas que catalizan la oxidación de los diferentes compuestos fenólicos transformándolos en sus derivados quinólicos que originan productos de color pardo responsables del color oscuro. (Hernandez, et al. 1997)

La actividad POD, determinada espectrofotométricamente a 485 nm, se basa en la reacción de oxidación del peróxido de hidrógeno con el guayacol, donante de hidrógeno, en presencia de la enzima contenida en el extracto analizado. De igual forma, la actividad PPO se determina espectrofotométricamente a 420 nm., usando la reacción de oxidación catalítica del catecol en presencia de la enzima contenida en el extracto en estudio. (MacDonald, et al., 2000; Cano, et al., 1995; Lima, et al., 1994; Fúster, et al., 1994; Cano, et al., 1990; Marin, et al., 1992; Cano, et al., 1990).

Con estos instrumentos se realiza primero un barrido de longitudes de onda con la disolución de referencia en la trayectoria del haz. La señal de salida del detector se digitaliza en tiempo real y se almacena en la memoria del ordenador. Después se realiza el barrido con la muestra y se calcula la absorbancia con la ayuda de los

datos de la disolución de referencia almacenados. El espectro completo se visualiza sobre un tubo de rayos catódicos en 2 segundos después de la adquisición de datos. El ordenador asociado al instrumento está provisto de varias opciones relacionadas con el procesamiento de los datos y presentación de los mismos como logaritmo de la absorbancia, transmitancia, derivadas, espectros superpuestos, barrido repetitivo, cálculo de concentraciones, localización de picos, determinación de alturas y medidas cinéticas. (Figura 3) (Skoog, et al, 2001)

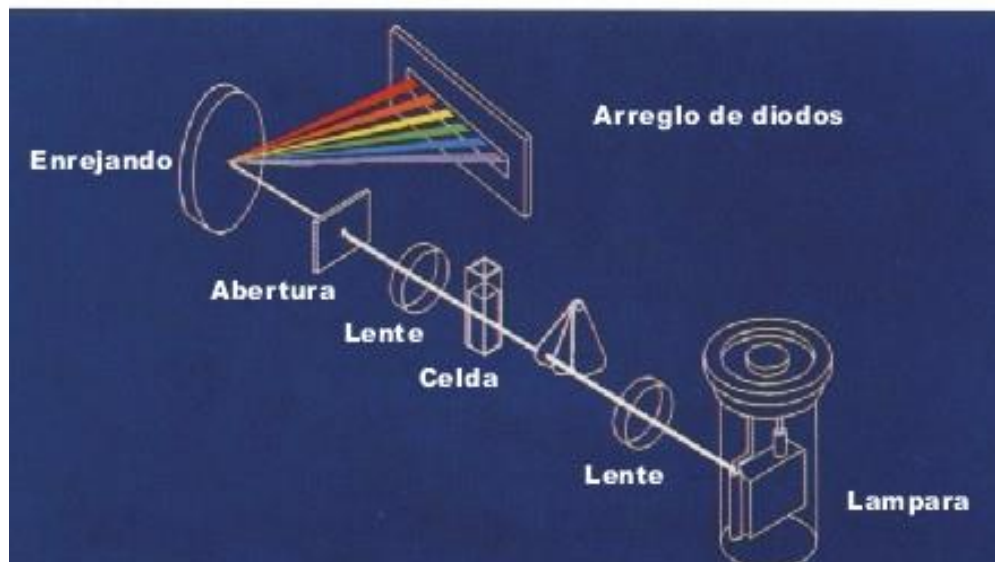


Figura 3. Espectrofotómetro multicanal de diodos en serie.

Este equipo consta de un detector con una serie de diodos de silicio, con estos dispositivos situados en el plano focal del monocromador, se puede obtener un espectro mediante un barrido electrónico en lugar de mecánico; todos los datos puntuales necesarios para definir un espectro se pueden recoger simultáneamente. El concepto de los instrumentos multicanal es atractivo por la velocidad potencial a la que se pueden obtener los espectros así como por su aplicabilidad para las determinaciones simultáneas de multicomponentes. (Skoog, et al, 2001)

#### **4.5.9 Determinación del contenido de proteínas**

La prueba para determinar proteínas por el método de Bradford se basa en el acoplamiento del colorante con la proteína y se determina colorimétricamente, existe una relación directa entre el desarrollo del color y la concentración de proteínas.

Con este método las proteínas tienen una capacidad de absorción máxima de 465 nm, eso cambia a 595 nm cuando el colorante está unido a las proteínas. Este es el principio básico del azul de Coomassie para la determinación de proteínas por Bradford. (Bradford, 1976)

El máximo de absorbancia del colorante azul de Coomassie en solución ácida varía de 495 a 595 nm tras añadir proteína debido a la estabilización de la forma aniónica del mismo por interacciones hidrofóbicas e iónicas. El azul de Coomassie reacciona principalmente con residuos de Argenina y en menor grado con residuos de Histidina, Lisina, Tirosina, Triptófano y Fenilalanina. Hay varios protocolos según la cantidad estimada de proteína a medir.

#### **4.5.10 Análisis sensorial**

Se llevó a cabo mediante una prueba de preferencia-aceptación (The Almanac, 1970) que consiste en emplear una escala hedónica de 5 puntos en los que se refleja la intensidad de aceptación o rechazo provocada por el alimento, el 5 (cinco) expresa el nivel más alto de aceptación (100%) y el 0 (cero) el más bajo. El número de catadores no entrenados que participaron en cada prueba fue de 9.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 MATERIA PRIMA**

El banano bocadillo (*Musa acuminata*) se obtuvo de la finca La Santa María, en la vereda El Ocaso en el municipio de la Tebaida, Quindío ubicada a 1200 metros sobre el nivel del mar, con 1800-2000 horas luz, suelo franco arenoso

Con base a la carta de color establecida para banano bocadillo (*Musa acuminata*), (Gómez y López., 2004), el grado de madurez número 5 es el que presenta propiedades sensoriales agradables y favorables al proceso de DO-AC. Las características de color observadas fueron apropiadas a la percepción sensorial, con un 80% de color amarillo en la cáscara, y puntas verdes, sin aparente daño mecánico, visualizando un estado de sanidad satisfactorio.

### **5.2 ESCALDADO**

Con el fin de evitar el posible deterioro de las características sensoriales, principalmente del color, durante el procesado se evaluará la incidencia del

escaldado sobre la inactivación de la enzima polifenoloxidasasa (PPO) principalmente, previo a la deshidratación osmótica.

Se hicieron ensayos de temperaturas desde 70°C aumentando a intervalos de 5°C hasta 90°C y tiempos de exposición desde 5 segundos hasta 25 segundos a intervalos de 5 segundos. Se evaluaron los cambios en la apariencia de la fruta y el retardamiento del oscurecimiento de las rodajas el cual fue evaluado mediante el seguimiento de la cinética de actividad enzimática.

### **5.3 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

Se realizó la DO de rodajas de Banano Bocadillo (*Musa acuminata*) de 2mm de espesor previamente escaldadas, se deshidrato a Presión atmosférica, con solución de sacarosa de 65°Brix durante 300 minutos (Gómez, López 2004).

### **5.4 DO POR METODOS COMBINADOS DE SECADO POR AIRE CALIENTE**

Con el fin de evaluar la influencia de la agitación de la solución deshidratante sobre la cinética de DO de las rodajas de banano bocadillo escaldadas y no escaldadas, se hicieron ensayos de DO dinámico utilizando un agitador mecánico para mantener la solución deshidratante en continuo movimiento durante todo el tiempo del proceso y DO estática con jarabe sin movimiento.

El tratamiento térmico de secado por aire caliente en una estufa de circulación forzada (Marca MLW), con capacidad hasta 200°C, control de temperatura automática y digital y control de tiempo en horas, capacidad 4 bandejas) (Figura 4)

se realizó a: 65, 70, 75 y 80°C, con tiempos de secado de 2, 3 y 4 horas, dando un total de 12 combinaciones de secado distintas.

Las rodajas de banano bocadillo frescas, deshidratadas y sometidas a secado por aire caliente se evaluaron físicoquímica y organolepticamente, tal como se describe posteriormente esto con el fin de establecer las mejores condiciones de proceso.



Figura 4. Estufa de circulación forzada (Marca MLW), con capacidad hasta 200°C, control de temperatura automática y digital y control de tiempo en horas, capacidad 4 bandejas.

#### ***5.4 ANALISIS DE RODAJAS DE BANANO BOCADILLO FRESCAS, DESHIDRATADAS Y SECAS POR AIRE CALIENTE.***

##### **5.4.1 Peso**



Cada rodaja de banano bocadillo, se pesó antes y después de sometidas a la deshidratación con aire caliente en una balanza analítica marca Precisa Modelo 40SM – 200 A, con sensibilidad  $\pm 0.00001$ . Figura 5

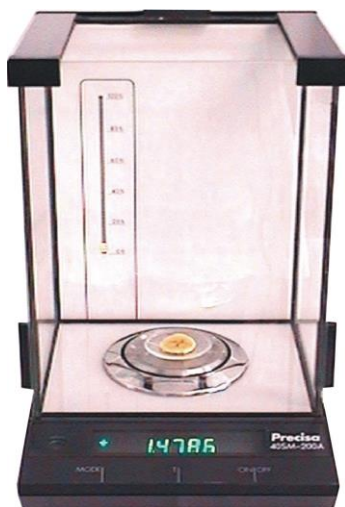


Figura 5. Balanza analítica Precisa Modelo 40SM – 200 A.

#### 5.4.2. Humedad

Se utilizó una balanza de infrarrojo marca PRECISA 310M SWISS Cuality Precisa Ha 300 (Figura 6), aplicando diferentes temperaturas de secado (80, 85, 90, 95, 100°C) hasta peso constante, dependiendo de la condición del producto: fresco, DO ó DO-AC, determinando una temperatura de calefacción de 100 °C.

En primer lugar se tara la balanza. Para ello se colocó el platillo de aluminio en la misma, se cerró la tapa del horno y se pulso 1 vez TARE; hasta que apareció en pantalla el dato de temperatura programada y el peso.



Figura 6. Balanza de humedad PRECISA 310M SWISS Cuality Precisa Ha

Después se coloca una rodaja de banano bocadillo de manera que facilite el secado de la misma. El equipo registra de forma automática la variación del peso de la rodaja que equivale a valores de humedad (g agua / 100 g muestra) considerando que todo el peso perdido corresponde a agua evaporada. Cuando el valor de la humedad aparece constante, la rodaja ya no podrá perder más agua y ese valor corresponde a la humedad de la fruta.

### 5.4. 3. Densidad aparente.

Para esta determinación se empleó un picnómetro cilíndrico de 25 cc de capacidad utilizando agua destilada como líquido de referencia. Este método está basado en el desplazamiento del volumen del líquido al introducir la muestra en el picnómetro. Los valores de la densidad aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) se obtienen aplicando la ecuación (3) (Moraga, 2002).

$$\rho_a = \frac{P_1}{P_2 + P_1 - P_3} \times \rho_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3)$$

Donde:

$P_1$ : peso del trozo de fruta (g)

$P_2$  : Peso del picnómetro enrasado con agua destilado (g)

$P_3$ : peso del picnómetro enrasado con el agua y con la fruta (g)

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ :  $1000 \text{ Kg/m}^3$

Con base en este análisis se calculó el volumen aparente de cada una de las rodajas de banano bocadillo frescas, DO y la cinética de DO-AC.

### 5.4. 4 pH.

Se utiliza un pHmetro marca Metrohm 704 serie 01 con electrodos de platino pH 0 – 14/0 – 80 °C Pt 1000/b/2/3M de KCl y de penetración Metrohm 6.0226.100 pH 4 – 9/0 – 40 °C (Figura 7) para realizar una punción directa sobre la muestra. Se calibra con solución tampón de pH 4 y 7 marca Merck y se realizaron tres medidas en cada una de las rodajas y de igual forma se mide el pH de la solución deshidratante (AOAC 981.12).

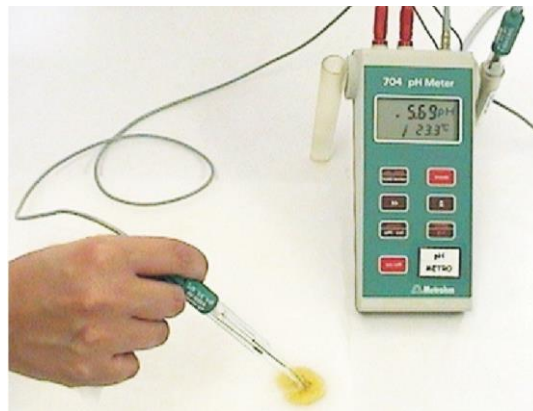


Figura 7. PHmetro de penetración Metrohm 6.0226.100 pH 4 – 9/0 – 40 °C.

#### 5.4.5 °Brix.



Figura 8. Refractómetro METTLER TOLEDO Refracto 30P.

El contenido de sólidos solubles se determina por el método refractométrico y se expresa como porcentaje de sólidos solubles o °Brix. El equipo utilizado se calibra con agua destilada. Se colocó una muestra de pulpa de banano bocadillo sobre el prisma del refractómetro marca METTLER TOLEDO Refracto 30P, escala de 0 a 85 °Brix (Figura 8) y se realiza la lectura por triplicado, de igual manera se efectúa para cada solución de sacarosa. Se registra la temperatura a la cual se realiza cada medida.

#### 5.4. 6 Actividad de agua ( $a_w$ ).

Para esta determinación se utiliza un equipo de marca DECAGON Pa<sub>w</sub> Kit Water Activity Meter (Figura 9), el cual se calibra mediante el uso de solución saturadas de NaCl, 6M, con 0,760 de  $a_w$  y LiCl, 13,41 M, con  $a_w$  0,250. Para realizar las mediciones, se colocó el portamuestras con la rodaja de banano bocadillo en la cámara, se cerró y se pulsó el botón de lectura. Una vez que el equipo ha alcanzado el equilibrio, se obtuvo el valor de actividad de agua a la temperatura de análisis. Las medidas se realizaron por triplicado. (Pinzón, 2000)

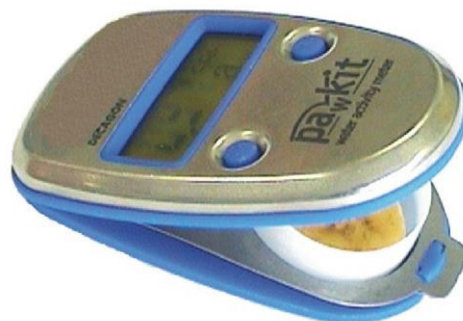


Figura 9. DECAGON  $P_{aw}$  Kit Water Activity Meter

#### 5.4.7 Análisis de azúcares por HPLC

azúcares: glucosa, fructosa y sacarosa, se cuantifican e identifican por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) (Figura 10). Para obtener la muestra a analizar se homogeniza a 18000 rpm (Homogenizador marca Hirosagua airon Works, (Figura 12a) un gramo de muestra y se afora a 25 mL con agua grado 1, se envasa en tubos ependorff y se centrifuga en una centrífuga marca IEC – Centra modelo MP4R (Figura 11) 12000 rpm a 0°C durante 15 minutos, el sobrenadante se pasa a través de un filtro de 0.45  $\mu\text{m}$  (marca Millpore), el filtrado se transvasa a viales de 1.9 mL que se almacenan en congelación hasta el momento del análisis. (Pinzón, 2000)



Figura 10 Cromatógrafo de líquidos de alta eficiencia (HPLC) marca Waters



Figura 11 Centrifuga IEC – Centra modelo MP4R

El análisis de azúcares se realizó en un equipo marca HP 1050 bajo las siguientes condiciones cromatográficas:

Bomba cuaternaria 515 Waters

Columna: BioRad HPX 87-H, 9 m. 300 mm x 7,8 mm

Fase Móvil: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.005 N

Flujo 0.9 ml/min.

Temperatura de la columna: 35°C

Detector: IR (índice de refracción) 2487 W, Longitud de onda 210nm

Tiempo de elución: 12 minutos

Volumen de inyección: 20 µL

Presión de la bomba 0-100bar

#### 5.4.8 Cuantificación de proteínas

La cuantificación de proteína por el método de Bradford se toman 10 g de banano bocadillo a los cuales se les agrega 50 mL de NaCl al 0.15M, se agitar por 30 minutos y luego se centrifuga a 3000 rpm por un tiempo de 15 minutos. A el extracto obtenido se le ajusta el pH a 4.65 con HCL 6 N, se toman 40.0  $\mu$ L de muestra a los cuales se les adiciona 3000  $\mu$ L de coomassie se agita y se deja en reposo, luego de ocurrida la reacción se lee en el UV-VIS a 595 nm (El blanco se lee con 100  $\mu$ L de NaCl 0.15 M + 5 mL de coomassie).

#### 5.4.9 Actividad enzimática PPO y POD

La actividad enzimática PPO y POD se analizó en espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV-VIS) con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453 (Figura 12 b) según metodología adaptada por Pinzón (2000). Obtención del extracto: a 10 g de muestra fresca y deshidratada se le adicionaron 25 mL de tampón fosfato 0.2 M a pH 6.5, 1 g de polivinilpirrolidona y 250  $\mu$ L de tritón. Se homogenizó en un homogenizador marca Hirosagua airon Works de 18000 rpm (Figura 12 a) por 6 min (30 segundos homogenizando a 0°C en baño de hielo y 30 segundos en reposo), la mezcla se centrifugó en una centrífuga IEC – Centra modelo MP4R (Figura 10) a 12000 rpm por 30 min a 4°C el sobrenadante se mantiene a 0°C hasta el momento de reacción.





(a)

(b)

Figura 12. a). Homogenizador marca Hirosagua airon Works de 18000 rpm. b). Espectrofotometro ultravioleta-visible (UV-VIS) con arreglo de diodos Hewllet Packard modelo HP-8453.

Actividad peroxidasa (POD): Se preparó un blanco que contiene 2.7 mL de tampón fosfato 0.2 M a pH 6.5, 0.2 mL de guayacol al 1% como donador de hidrógeno, 0.1 mL de peróxido de hidrógeno al 1.5 % como oxidante, se leyó en un espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos Hewllet Packard modelo HP-8453 (Figura 12 b) a una longitud de onda de 485 nm. Para la muestra, se agregaron 0.075 mL del extracto al blanco, se agitó y se leyó la absorbancia cada 4 segundos por 6 minutos. La actividad de la enzima se midió determinando la pendiente de la línea de reacción a cero (velocidad inicial). La unidad de actividad fue definida como el cambio en la absorbancia/minuto/gramo de pulpa.

Actividad Polifenoloxidasas (PPO): se preparó un blanco que contiene 3.0 mL de catecol 0.07 M como oxidante en tampón fosfato pH 6.5, se leyó en un espectrofotómetro UV-VIS con arreglo de diodos Hewllet Packard modelo HP-8453 (Figura 23 b) a una longitud de onda de 420 nm. Para la muestra se agregaron 0.035 mL del extracto se agitó y se leyó la absorbancia cada 5 segundos por 6 minutos. El cambio del color se dio de transparente a café; la

unidad de actividad de la enzima se definió como el cambio en la absorbancia/minuto/gramo de pulpa.

#### 5.4.10 Componentes volátiles del aroma

La extracción de los constituyentes volátiles de las rodajas de banano bocadillo se llevo a cabo con el método de destilación - extracción simultánea con solvente orgánico Eter etílico (Grado R.A., J.T. BAKER) (Suárez y Duque, 1991).

A 100 g de rodajas en el estado a evaluar (frescas, osmodeshidratadas y secas por AC). En la Figura 13 se muestra el equipo de destilación – extracción simultánea (DES). En el balón A (lado derecho), se colocan los 100g de muestra, el cual es calentado en una manta de calentamiento o temperatura moderada; el balón B (lado izquierdo), que contiene 20mL de Eter etílico, también es calentado a menos de 50°C. El tiempo de extracción es de 1 hora, durante el cual debe estar recirculando a través de los condensadores líquido refrigerante a una temperatura de 0°C a 4°C.

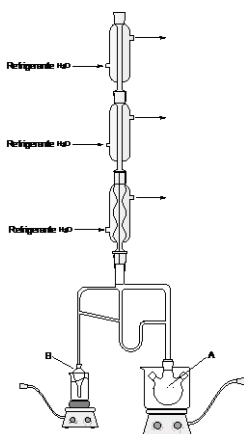


Figura 13. Equipo de Destilación – Extracción simultánea (D.E.S.).

El extracto colectado en el balón B se seca con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro (Grado R.A., J.T. BAKER), y se concentra en una columna vigrevx a  $30^\circ\text{C}$  (Figura 14), hasta obtener un volumen aproximado de 0.3mL de extracto concentrado. Este extracto se analiza inmediatamente por CG.

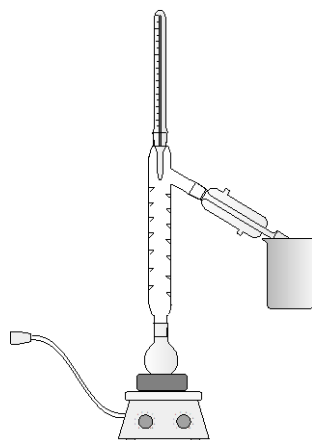


Figura 14. Columna Vigrevx

El extracto obtenido por D.E.S., se analizó en un cromatógrafo de gases (Figura 15) Hewlett Packard 5890 serie II plus, equipado con un detector selectivo de masas 5972, utilizando una columna capilar HP-5Ms de 30m de longitud, diámetro interno de 0,25mm y un grosor de película de fenil metil siloxano de  $0,25\mu\text{m}$ . Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron en  $250^\circ\text{C}$ , respectivamente. Para el banano bocadillo fresco el programa de temperatura del horno fue:  $70^\circ\text{C}$  durante un minuto, rampa de temperatura de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ , incrementado hasta  $220^\circ\text{C}$  y manteniendo esta durante 1 minuto. El flujo del gas portador, helio, fue de  $1,00\text{mL}/\text{min}$ . El volumen de inyección de la muestra fue de  $0.5\mu\text{L}$ , utilizando un split de 1:10, para banano bocadillo osmodeshidratado la temperatura del horno fue:  $70^\circ\text{C}$  durante un minuto, rampa de temperatura de  $6^\circ\text{C}/\text{min}$ , incrementado hasta  $250^\circ\text{C}$  y manteniendo esta durante 1 minuto. El flujo del gas portador, helio, fue de  $1,00\text{mL}/\text{min}$ . El volumen de inyección de la muestra fue de  $0.5\mu\text{L}$ , utilizando un split de 1:10, para el banano seco temperatura del horno fue:  $70^\circ\text{C}$  durante cinco minutos, rampa de temperatura de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ , incrementado hasta  $220^\circ\text{C}$  y manteniendo esta durante 1 minuto. El flujo del gas

portador, helio, fue de 1,00mL/min. El volumen de inyección de la muestra fue de 0.5 $\mu$ L, utilizando un split de 1:10 (Mora, 2000)



Figura 15. Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas.

### **5.4.11 Análisis sensorial**

Para esta prueba se realiza un test el cual consta de 5 puntos en los cuales se reconoce la aceptación que el producto tiene en cuanto a:

#### **1. AUSENCIA DE DEFECTOS**

- a. Libre de defectos
- b. material no característico, rodajas chatas, mal cortadas y manchadas

#### **2. COLOR**

- a. Rodajas de color amarillo brillante
- b. Rodajas de color amarillo pálido
- c. Predominan colores no característicos al fruto de banano bocadillo

#### **3. UNIFORMIDAD DE TAMAÑO Y SIMETRÍA**

- a. Rodajas de tamaño uniforme y forma simétrica
- b. Rodajas de diferente tamaño y forma regular

#### **4. AROMAS Y SABOR**

- a. Característico, dulce
- b. Muy dulce, astringente
- c. No característico, amargo y fermentado

#### **5. CARÁCTER**

- a. Rodajas flexibles, tiernas, poseen ejes definidos
- b. Ternura variable dentro de la misma rodaja, ejes desmembrados

c. Ternura y carnosidad variable dentro de la misma rodaja, muy dura

Cada uno de los puntos del test son calificados de 0 a 5, 0 como no aceptable y 5 como aceptable.

## 5.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los datos experimentales se evaluaron utilizando el paquete estadístico Stagraphics plus versión 5.1, usando un diseño factorial 3x4 para temperatura y tiempo.

### 5.5.1 Modelo estadístico para análisis de varianza simple

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \Sigma_{ijk} \quad i = (1,2,3,4) \\ j = (1,2,3)$$

$Y_{ij}$  = Valor Observado

$\mu$  = Media General

$\tau_i$  = Efecto de método

$\Sigma_{ijk}$  = Error

### 5.5.1.2 Hipótesis

$H_0 = \tau_i = 0$  Para todo valor de  $i$

$H_i = \tau_i \neq 0$  Para algún valor de  $i$

### 5.5.2 Modelo estadístico para interacción de variables

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \Sigma_{ijk} \quad i = (1,2,3)$$

$$j = (1,2,3,4)$$

$$k = (1,2,3,4,5,6,7,8,9)$$

$Y_{ijk}$  = Valor Observado

$\mu$  = Media General

$\tau_i$  = Efecto del Tiempo

$\beta_j$  = Efecto de la Temperatura

$(\tau\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del Tiempo y la Temperatura

$\Sigma_{ijk}$  = Error

### 5.5.2.1 Hipótesis

$H_0 = \tau_i = 0$  Para todo valor de  $i$

$H_i = \tau_i \neq 0$  Para algún valor de  $i$

$H_0 = \beta_j = 0$  Para todo valor de  $j$

$H_i = \beta_j \neq 0$  Para algún valor de  $j$

$H_0 = (\tau\beta)_{ij} = 0$  Para todo valor de  $ij$

$H_i = (\tau\beta)_{ij} \neq 0$  Para algún valor de  $ij$



## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Considerando que actualmente el mercado demanda frutas conservadas con características similares a su contrapartida fresca se han evaluado algunos parámetros de estabilización de las propiedades físicas y químicas de banano bocadillo que mayor influencia tienen sobre el producto final. A continuación se presenta un análisis del comportamiento de dichas características en rodajas de banano bocadillo deshidratadas osmóticamente y estabilizadas como producto final por secado con aire caliente.

### **6.1 EFECTO DEL ESCALDADO COMO RETARDANTE DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA**

Los frutos en especial el banano bocadillo contiene muchas enzimas activas que provocan el deterioro posterior a la cosecha de la calidad y valor nutricional. (Miller. 2003)

Las estabilidades térmicas de las enzimas varían considerablemente, por lo tanto las condiciones de escaldado necesitan enfocarse a las enzimas mas resistentes al calor. La peroxidasa (POD) es una de las enzimas más estables al calor. De este modo, resulta una buena y adecuada alternativa el escaldado, ya que los tratamientos térmicos suficientes para inactivar la POD también inactivan a la mayoría de otras enzimas. (Miller. 2003).

Para determinar la temperatura y tiempo optimo de escaldado de rodajas de banano bocadillo de 2mm de espesor en estado de maduración 5 (Gómez, López. 2004) se realizaron análisis previos.

Para establecer el tiempo de escaldado de las temperaturas seleccionadas de acuerdo con la literatura (Rodríguez, Fito, 1998) 5, 10, 15,20, 25 y 30 segundos, se realizaron los siguientes análisis:

- Reacción directa con catecol (Meyer, et al, 1983) una vez realizado el escaldado a los tiempos y temperaturas seleccionadas y comparando con un blanco.
- Observación visual del deterioro de las rodajas de banano bocadillo luego del tratamiento.

Los resultado de estos análisis se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de los análisis efectuados luego del tratamiento de escaldado a rodajas de banano bocadillo

Temperatura (°C)	Tiempo de escaldado (seg.)	Tiempo de reacción al catecol (seg.)	Observación visual
90	5	40	Buena textura y brillo
90	10	240	Buena textura y brillo
90	15	250	Deterioro del fruto
90	20	300	Deterioro del fruto
90	25	350	Deterioro del fruto
90	30	480	Deterioro del fruto
85	5	40	Buena textura y brillo
85	10	100	Buena textura y brillo
85	15	200	Buena textura y brillo
85	20	230	Deterioro del fruto
85	25	245	Deterioro del fruto
85	30	250	Deterioro del fruto
80	5	30	Buena textura y brillo
80	10	40	Buena textura y brillo
80	15	100	Buena textura y brillo
80	20	200	Buena textura y brillo
80	25	220	Deterioro del fruto
80	30	230	Deterioro del fruto

75	5	20	Buena textura y brillo
75	10	30	Buena textura y brillo
75	15	35	Buena textura y brillo
75	20	190	Buena textura y brillo
75	25	260	Deterioro del fruto
75	30	280	Deterioro del fruto
70	5	10	Buena textura y brillo
70	10	20	Buena textura y brillo
70	15	30	Buena textura y brillo
70	20	100	Buena textura y brillo
70	25	180	Buena textura y brillo
70	30	183	Deterioro del fruto

Del análisis de los resultados consignados en la tabla N°1. Se hicieron las siguientes consideraciones:

1. Se descartaron temperaturas y tiempos donde se apreció deterioro en el fruto en cuanto a textura y oscurecimiento temprano de la rodaja.
2. Se descartaron tiempos y temperaturas donde la reacción con catecol fue muy rápida, por debajo de 3 minutos (180 seg.) dada por la aparición del color naranja-café característico de esta reacción.

Por consiguiente, las temperaturas y tiempos de escaldado a considerar para realizar la cinética de inactivación enzimática de las rodajas de banano bocadillo por espectrometría UV-VIS, son: 90°C durante 10 seg, 85°C durante 15 seg, 80°C durante 20 seg, 75°C durante 20 seg y 70°C durante 25 seg, nótese que a medida que disminuye la temperatura aumenta el tiempo de escaldado para la mayoría de los ensayos realizados.

En la Figura 16 se muestra en comportamiento de la PPO durante el tratamiento térmico observándose que a 85°C, durante 15 segundos se tiene una actividad

Enzimática mínima (0.0035), además los frutos expuestos al escaldado presentaron buena apariencia. LA POD, Figura 17 presenta el mismo comportamiento donde el fruto no presento deterioro aparente.

Por tanto, de acuerdo con estos resultados la temperatura de escaldado a la cual se obtiene la mayor inactivación enzimática tanto de PPO, como POD es de 85°C.

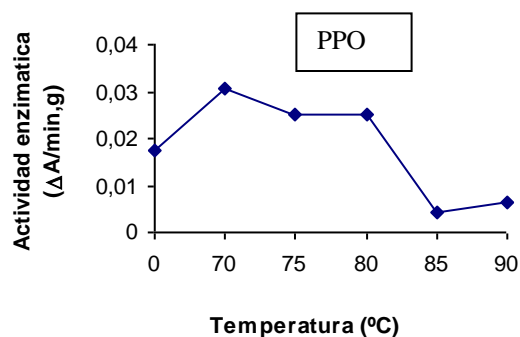


Figura 16. Evolución de la PPO de rodajas de banana bocadillo sometidas al efecto del escaldado

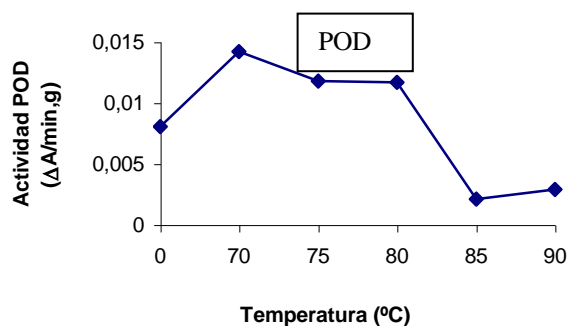


Figura 17. Evolución de la POD de rodajas de banana bocadillo sometido al efecto del escaldado

## 6.2 EFECTO DEL ESCALDADO Y LA AGITACIÓN EN LA DO

En este proceso se llevaron a cabo 4 tratamientos: 1. DO sin escaldado y sin agitación, 2. DO sin escaldado y con agitación, 3. DO con escaldado y sin agitación, 4. DO con escaldado y con agitación.

En cada uno de los tratamientos se estudio la evolución de los siguientes parámetros como son: pérdida de peso, ganancia de sólidos, pérdida de humedad, cambios en pH y  $a_w$ .; además se realizó una comparación entre cada uno de los parámetros evaluados en cada tratamiento con respecto a las rodajas frescas (figura N°18), dando como resultado que en los tratamientos 3 y 4 las diferencias de pérdida de peso, la pérdida de humedad y de ganancia de sólidos no son significativos para el propósito de la investigación el cual es eliminar el mayor contenido de agua de la fruta, este fenómeno se deba posiblemente al efecto del escaldado sobre los tejidos celulares que resulta de una ruptura celular permitiendo la migración de agua tanto del escaldado como de la solución osmótica al interior del tejido.

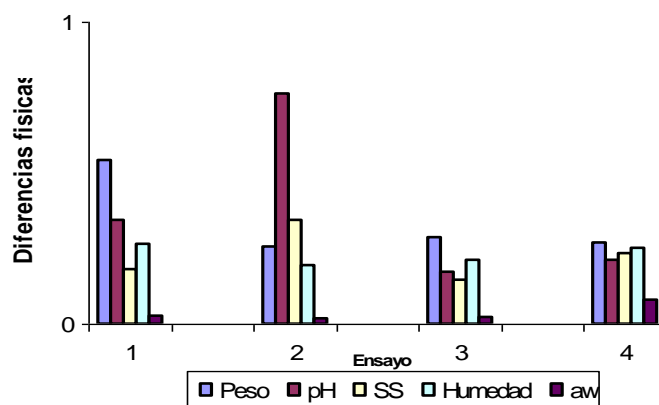


Figura 18. Comparación de tratamientos 1, 2, 3 y 4 en rodajas de banano bocadillo

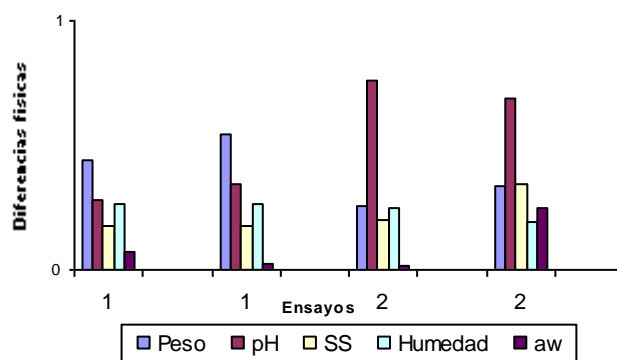


Figura 19. Comparación de tratamientos 1 y 2 en rodajas de banana bocadillo

El tratamiento 2 presenta una diferencia considerable en el pH (Figura 19), de aproximadamente 2 veces (1:2.7), lo cual pueda deberse al efecto de la agitación mecánica del jarabe que aumenta la velocidad de migración de solutos presentes en la solución osmótica tales como ácido ascórbico y ácido cítrico adicionados como conservantes de esta.

El tratamiento 1, presenta una buena pérdida de peso, mayor pérdida de agua en comparación con los tres tratamientos restantes, un menor cambio de pH y  $a_w$ , además el contenido de sólidos solubles al final del tratamiento es menor, lo que implica menor entrada de azúcar al interior del fruto, lo cual es deseable en procesos de DO.

En el análisis estadístico se encuentra una diferencia significativa en los tratamientos 2 y 4 a un nivel de confianza de 95%, mientras que en los tratamientos 1 y 2 hay correspondencia siendo homogéneos. (Anexo, Tabla 1 a 5)

Por consiguiente, se descartan las operaciones de escaldado de las rodajas de banana bocadillo y agitación del jarabe, por no contribuir al proceso de DO ya que la agitación produce la migración de solutos de la solución osmótica al interior del tejido y el escaldado aumenta el flujo del agua hacia el interior celular.

## **6.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS RODAJAS DE BANANO BOCADILLO FRENTE A LOS TRATAMIENTOS COMBINADOS DO-AC**

### **6.4.1 Sólidos solubles y actividad de agua**

Durante la DAC de rodajas de banano bocadillo DO se observa (Figura 20) un considerable y permanente aumento de los valores de sólidos solubles con un patrón muy similar en las 4 temperaturas evaluadas, el cual en términos cuantitativos representa un incremento de casi el doble en su producto final DAC respecto del producto inicial DO: de 47°Brix a 74°Brix en promedio, análogamente, la  $a_w$  se ve disminuida en un 32% al final de la DAC, a 75°C, 70°C y 65°C y de 0.41 de  $a_w$  para frutos DO y secados a 80°C. Estos resultados permiten afirmar que el proceso de DAC contribuye a la eliminación del agua libre o disponible del interior de los tejidos que aun permanece luego de deshidratar osmóticamente las rodajas de banano bocadillo.

El aumento de los sólidos soluble se puede atribuir al efecto que durante el proceso de secado se produce por la disminución de la humedad, el cual trae como consecuencia la concentración de sólidos en el interior del tejido.

La tabla ANOVA para °Brix y  $a_w$  (Anexo, Tabla 9 y 12) comprueba la significación estadísticamente en cada uno de los factores según el modelo, el p-valor inferior a 0.05 comprueba lo anterior, esto a un nivel de confianza de 95%, con interacción en cada uno de los tiempos y temperaturas usados en los ensayos, lo que indica el rechazo de la hipótesis nula.

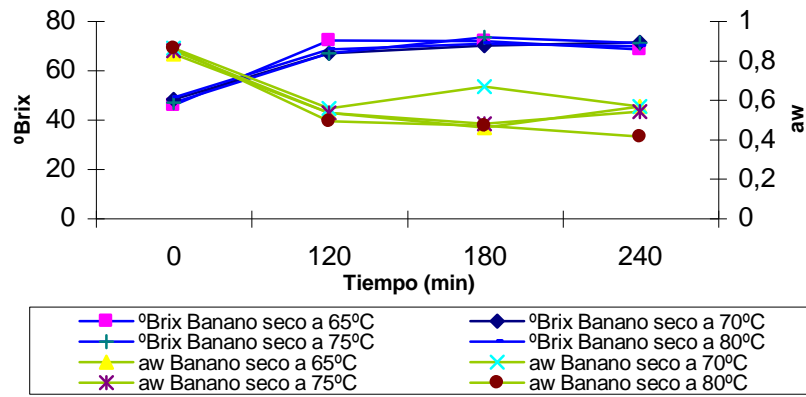


Figura 20. Comportamiento del aumento de sólidos solubles y la actividad de agua durante el secado de rodajas banano bocadillo.

#### 6.4.2 Análisis composicional (CMs y CMw)

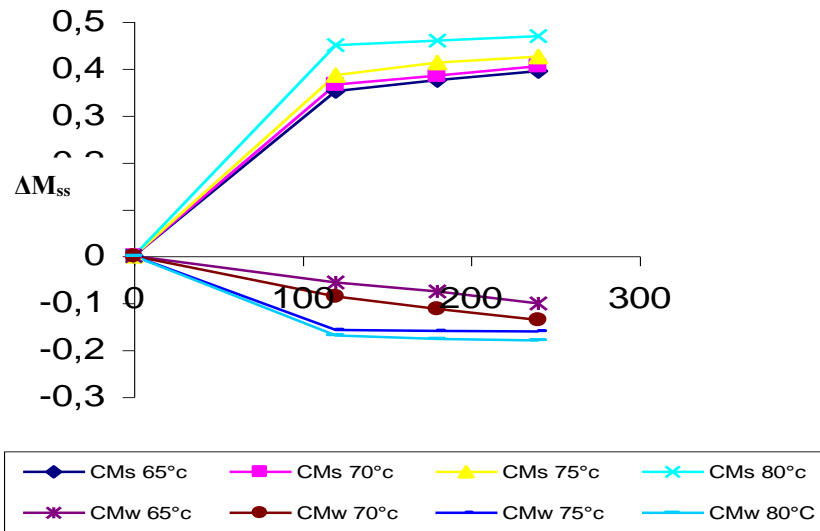


Figura 21. Perdida de agua y aumento de solutos durante la cinética de DAC de rodajas de banano bocadillo



El estudio del comportamiento de las rodajas de banano bocadillo durante la cinética de DAC se efectuó modelizando la variación de peso de las muestras durante cada uno de los tratamientos, en términos de la pérdida de agua ( $\Delta M_w$ ) y la variación de grados Brix en términos de aumento de sólidos solubles ( $\Delta M_s$ ), en cada uno de las temperaturas y tiempos de DAC evaluados, aplicando las ecuaciones 4,5, 6, 7 y 8 (Moraga, 2001).

$$\Delta M_w = \frac{(M_f * X_{wf}) - (M_0 * X_{w0})}{M_0} \quad (4)$$

$$\Delta M_s = \frac{(M_f * X_{ssf}) - (M_0 * X_{ss0})}{M_0} \quad (5)$$

$$X_s = \frac{(Z_s * X_w)}{1 - Z_s} \quad (6)$$

$$X_w = \frac{(M_0 - M_f)}{M_0} \quad (7)$$

$$Z_s = \frac{^\circ \text{Brix}}{100} \quad (8)$$

Donde:

$\Delta M_w$  = variación relativa del peso del agua respecto al peso inicial

$M_f$  = masa de banano bocadillo a tiempo final de tratamiento

$X_{wf}$  = fracción másica de agua en banano bocadillo a tiempo final de tratamiento

$M_o$  = masa de banano bocadillo a tiempo inicial de tratamiento

$X_{wo}$  = fracción másica de agua en banano bocadillo a tiempo inicial de tratamiento

$X_{sso}$  = fracción másica de sólidos solubles en banano bocadillo a tiempo inicial de tratamiento

$X_{ssf}$  = fracción másica de sólidos solubles en banano bocadillo a tiempo final de tratamiento

$Z_s$  = fracción másica de sólidos en la fracción líquida de la muestra

En la Figura 21 se presenta el comportamiento de la fracción de agua y fracción másica de las rodajas de banano bocadillo a diferentes temperaturas y tiempos de DAC. Se aprecia que para temperaturas de 80°C y 75°C hay una rápida disminución de la  $\Delta M_w$  hasta los 120 min, para luego mantenerse prácticamente constante hasta el final de la DAC, con un patrón similar de comportamiento; sin embargo, para temperaturas de DAC de 65°C y 70°C se aprecia una permanente disminución de dicho  $\Delta M_w$  a lo largo del proceso sin alcanzar la estabilización.

Por otra parte, la fracción másica  $\Delta M_{ss}$  muestra un patrón de comportamiento similar para las 4 temperaturas evaluadas, con valores de  $\Delta M_{ss}$  propios para cada una y con un evidente aumento en los primeros 120 min del proceso para luego tender a la estabilidad. Es importante resaltar que el aumento en la fracción másica es mayor comparado con la pérdida en la fracción de agua, lo cual es explicable teniendo en cuenta que la DAC retira agua del producto con la consecuente concentración de sólidos.

### 6.4.3 Peso y Volumen aparente

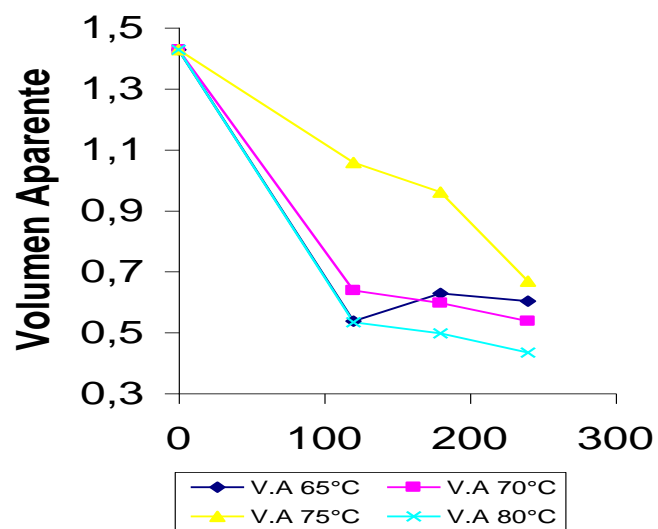


Figura 22. Comportamiento del volumen aparente durante la cinética de DAC de rodajas de banano bocadillo

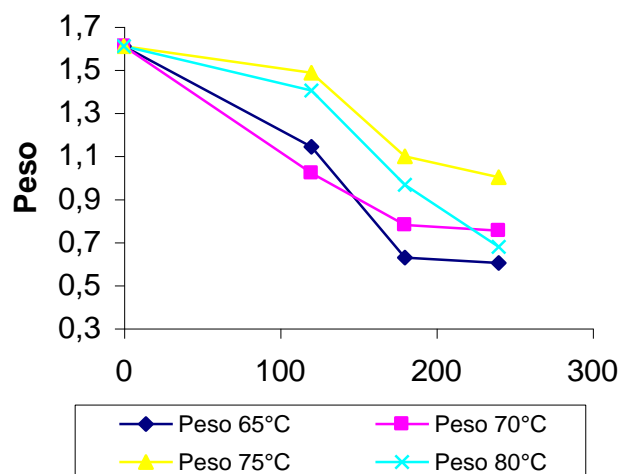


Figura 23. Comportamiento del Peso durante la cinética de DAC de rodajas de *banano bocadillo*

La pérdida de peso de las rodajas de banano bocadillo DAC es permanente durante todo el tiempo de secado (240 min) como se puede observar en la Figura 23 y en todas las temperaturas evaluadas; sin embargo, a 65°C se aprecia un descenso permanente de este parámetro lo que indicaría que a esta temperatura es posible continuar el secado hasta obtener peso constante. A 70°C y 75°C se aprecia un patrón similar de comportamiento con una alta velocidad de pérdida de peso hasta los 180 min para luego permanecer constante hasta 240 min, a 80°C se observa una acelerada pérdida de agua y consiguiente disminución del peso de las rodajas de banano bocadillo, durante todo el tiempo del tratamiento.

Respecto al volumen aparente (Figura 21), las rodajas de banano bocadillo DAC presentan la misma pauta de disminución siendo muy acusada en los primeros tiempos de DAC para luego mantenerse prácticamente constante.

La tabla ANOVA para Peso y volumen aparente comprueba la significación estadísticamente en cada uno de los factores según el modelo, el p-valor inferior a 0.05 comprueba lo anterior, esto a un nivel de confianza de 95%, con interacción

en cada uno de los tiempos y temperaturas usados en los ensayos, lo que indica el rechazo de la hipótesis nula. (Anexo, Tabla 6 y 18)

#### **6.4.4 Ácido málico y pH**

Los frutos de banano bocadillo presentan un bajo contenido de ácidos en su última etapa de maduración, esto se explica debido al balance azúcar-ácido que le confiere al fruto un gusto agradable; los ácidos málico, cítrico y oxálico se consideran reserva energética ya que son degradados y convertidos en azúcares durante la maduración a través de las reacciones del ciclo de Krebs y otras rutas metabólicas (Azcon-Bieto, Talon. 1996).

Sin embargo, se ha reportado la presencia en mayor cantidad en el fruto maduro de ácido málico. (Palmer, 1971; Mariott, 1980; Simmonds, 1973); por tal razón se cuantifica el contenido de ácido málico durante el proceso de DAC de rodajas de banano bocadillo, es así como debido a la pérdida de agua sufrida por el fruto el contenido de ácidos en casi todos los casos (Figura 24), la concentración de ácido málico aumenta al avanzar el proceso de DAC, esto posiblemente se atribuye a la relación de masa de la rodaja con respecto a la pérdida de humedad durante los primeros 120 min de DAC, para luego disminuir progresivamente, para las rodajas DAC a 65°C y 70°C. No obstante, en rodajas secadas a 70°C la concentración de ácido málico aumenta hasta los 180 min para luego disminuir hasta valores superiores (0,6 ppm), a los obtenidos a 65°C, 75°C y 80°C a tiempos de secado de 240 min. Es necesario resaltar que en la curva de secado a 80°C se aprecia una disminución inesperada a los 120 min para luego mostrar el mismo patrón de las rodajas secadas a 65°C y 75°C, este comportamiento irregular puede explicarse teniendo en cuenta que los frutos se someten a una etapa de secado a temperaturas relativamente elevadas que pueden afectar de manera no controlada el comportamiento de este metabolito.

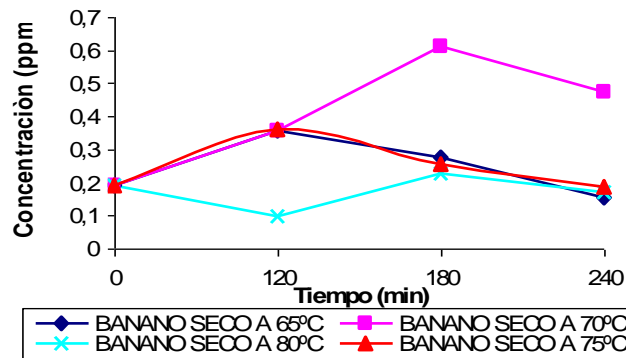


Figura 24. Evolución del ácido málico durante el secado de rodajas de banano

Todo lo anterior explica de manera clara el comportamiento del pH (Figura 25), en cada uno de los tiempos se tiende a la disminución del pH, es decir ganancia de acidez del fruto, además la salida de agua por parte de la DAC permite la concentración de ácidos al interior del fruto.

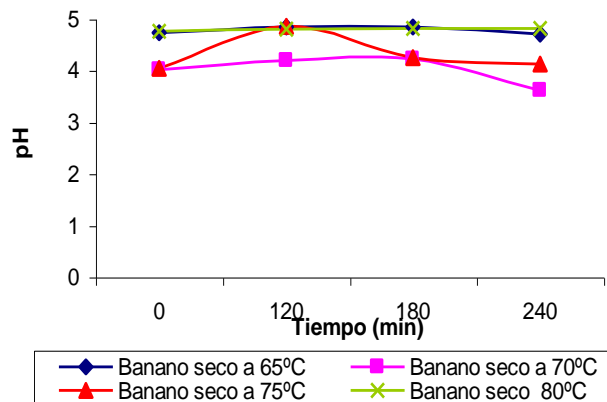


Figura 25. Comportamiento del pH durante la cinética de secado de rodajas de banano bocadillo.

### 6.4.5 Comportamiento de la proteína en los tratamientos de DO-AC

Los resultados del análisis de la proteína se consignan en la Tabla 2, en donde claramente se aprecia una disminución de esta, en el fruto fresco el valor de proteína es de 0,97% el cual es considerable teniendo en cuenta que las frutas tienen un bajo contenido de proteína, en el fruto sometido a DO hay una disminución de proteína mínima (0.013) atribuible a que por razones de análisis para cada caso se usa un fruto diferente que aunque posean las mismas condiciones hay cambios entre ellos, para el fruto sometido a DAC la reducción es mucho mas grande, solo el 10% de la proteína inicial es encontrada en este caso, atribuible a la desnaturalización de esta durante los tratamientos térmicos.

Tabla 2. Comportamiento de la proteína en los tratamientos de DO-AC de rodajas de banano bocadillo

<b>%Proteína</b> banano bocadillo fresco	<b>%Proteína</b> banano bocadillo DO	<b>%Proteína</b> banano bocadillo DO-AC
<b>0.97%</b>	<b>0.957%</b>	<b>0.095%</b>

### 6.4.6 Actividad enzimática: PPO y POD

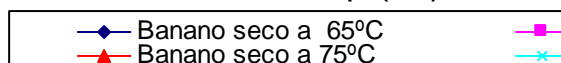
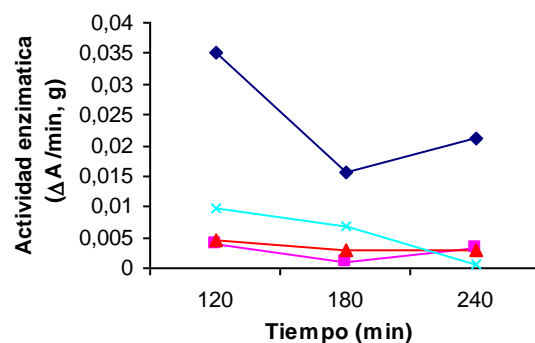
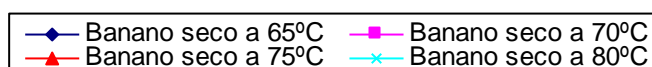
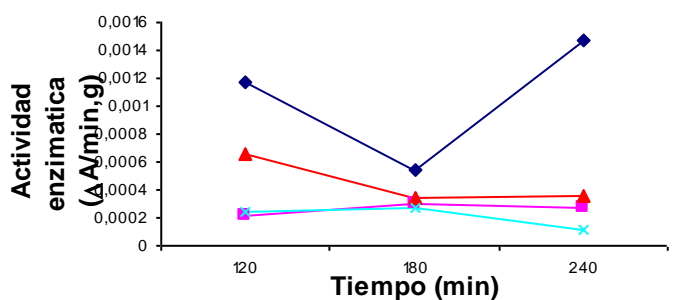


Figura 26. Comportamiento de la actividad (a) PPO y (b) POD durante la DAC de rodajas de banano bocadillo

Los tejidos de frutos de banano bocadillo son ricos en compuestos fenólicos tales como 2,4-dihidronifenil etilamina y 3,4- dihidronifenilalanina, estos compuestos son oxidados por la PPO (E.C.1.10.3.1), son los responsables del rápido oscurecimiento de los tejidos del fruto (Palmer. 1971).

El comportamiento de la actividad PPO durante la DAC de rodajas de banano bocadillo se observa en la Figura 26(a), donde se aprecia un patrón de comportamiento similar para las rodajas secadas por aire caliente a 70°C, 75°C y 80°C, con tendencia a disminuir al avanzar el tiempo de secado. Para las rodajas DAC a 65°C la actividad PPO disminuye progresivamente hasta los 180 min, para luego presentar una pequeña reactivación a los 240 min, debido posiblemente a residuos de enzimas capaces de reaccionar con los compuestos fenólicos presentes posiblemente liberados durante la evaporación del agua y debido a la baja temperatura DAC, aun queda enzima PPO capaz de reaccionar con estos sustratos, razón por la cual las rodajas DAC, en estas condiciones, se oscurecen muy rápidamente colores café oscuro muy intensos. Es necesario anotar que la actividad enzimática se ve disminuida notablemente desde 0.26 unidades de actividad enzimática hasta valores inferiores a 0.002 o lo que es lo mismo una reducción de cien veces, demostrándose que el uso de temperaturas moderadamente altas y la pérdida de humedad permiten inactivar esta enzima responsable de la aparición de estos colores desagradables.

La POD (EC 1.11.1.7), esta enzima en presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, cataliza la oxidación de sustratos tales como fenoles, aminas aromáticas secundarias y terciarias, ácido ascorbico e índoles (Haard, Tobin. 1971). El papel exacto de estas enzimas en la maduración del banano bocadillo no esta muy claro. La Figura 26(b), muestra la disminución de la actividad POD desde el inicio del proceso de DAC de rodajas de



banano bocadillo y presenta un patrón similar para todas las temperaturas de secado por consiguiente una inactivación desde el inicio de la DAC. Sin embargo las rodajas sometidas a DAC a 65°C muestran una mayor actividad enzimática que aquellas secadas a 70°C, 75°C y 80°C donde prácticamente a los 120 min la actividad POD es nula y se mantiene en esta condición hasta el final del proceso de secado.

La tabla ANOVA para PPO y POD comprueba la significación estadísticamente en cada uno de los factores según el modelo, el p-valor inferior a 0.05 comprueba lo anterior, esto a un nivel de confianza de 95%, con interacción en cada uno de los tiempos y temperaturas usados en los ensayos, lo que indica el rechazo de la hipótesis nula. (Anexo, Tabla 24 y 25)

#### **6.4.7 Azúcares**

En este estudio se tuvo dificultad con la medida del contenido de azúcares: glucosa, fructosa y sacarosa, de las rodajas de banano bocadillo ya que por el deterioro de la fase estacionaria de la columna Aminex HPx 87H, del equipo HPLC del Laboratorio de Investigación en Postcosecha, no se pudo obtener reproducibilidad en los datos y los tiempos de retención obtenidos no eran confiables, por ende, este resultado no se puede reportar en esta investigación.

#### **6.4.8 Evolución de los componentes volátiles del aroma**

Los resultados obtenidos para la evolución de los componentes volátiles del aroma en rodajas de banano bocadillo se muestran en la Tabla 3, los cuales son

obtenidos de la biblioteca NBS-NIST 75, con base en los tiempos de retención del compuesto.

Tabla 3. Evolución de los componentes volátiles del aroma durante la cinética de DO-AC

COMPONENTES	FRESCO	DO	SECO A °C
<b>HIDROCARBUROS</b>			
4-Ciclopentano-1,3-dieno	x	x	
5,2-propenil-1,2,3-trimetoxi benceno	x	x	
Hexil-n-valerato	x	x	x
pentadecano	x	x	
1,3-ciclooctadieno (z,z)	x	x	x
1,6-octadieno €	x		
2-metoxi ciclohexano	x		
<b>ALCOHOLES</b>			
3-Metil-1-butanol	x		
Acetato-2-pentanol	x		
2-ciclohexen-1-ol	x		
3-metil ciclohexanol	x	x	
2,4-dimetilciclopentanol	x		
2,2-dimetil hexanol	x		
3-buten-2-metil-2-ol	x	x	
1-fenol-2-metoxi-4-(2-propenil)acetato	x		
campor	x		
3-metilacetato-1-butanol	x		
<b>CETONAS</b>			
2-Heptanona	x		x
Dimetilaminoacetona	x		
3-hepten-2-ona	x	x	x
2-alil-2-metil-1,3-ciclopentadienona	x		
2-undecanona	x	x	
6-octen-2-ona	x	x	

acetofenona	x	x	
<b>ALDEHIDOS</b>			
2-Hexenal	x		x
Bencenoacetaldehido	x	x	
tetradecanal	x	x	
<b>ACIDOS</b>			
Acido-2-metil-1-metilbutilpropanoico	x		
Acido hexanoico	x	x	
Acido tetradecanoico	x	x	
Acido hexadecanoico	x		
Acido dodecanoico	x		
Acido-2-metilpropil-3-metilbutanoico	x		
Acido heptanoico	x		
Acido-3-metilbutilbutanoico	x		
Acido-3-metil-3-metilbutilbutanoico	x	x	
Acido-2-metil-2-pentanoico	x	x	x
<b>ESTERES</b>			
Acido Butanoico-2-metilpropil ester	x		X
Acido Butanoico butil ester	x		X
Acido Butanoico-3-metilbutil ester	x	x	X
Acido Butanoico-1-metiloctil ester	x	x	X
Acido Butanoico ciclohexil ester	x		x
Acido Butanoico hexil ester	x	x	
Acido Butanoico-2-metilhexil ester	x		
Acido hexanoico-2-metilbutil ester	x	x	
Acido pentadecanoico, etil ester	x	x	
Acido propanoico, 2-metilfenil ester	x	x	

Como se puede observar las rodajas de banano bocadillo fresco tiene gran contenido de componentes volátiles del aroma, lo cuales se ven considerablemente reducidos luego de los tratamientos de DO-AC, probablemente el uso de temperaturas relativamente elevadas facilita la perdida de estos, se

puede apreciar como por ejemplo compuestos como Acido-2-metil-2-pentanoico, 3-hepten-2-ona, Hexil-n-valerato, toleraron todo el proceso de DO-AC

#### **6.4.9 Análisis sensorial**

La evaluación de la calidad de los productos alimenticios, debe considerar una evaluación sensorial, que permita controlar la calidad del producto desde el punto de vista organoléptico y predecir la aceptabilidad que tendrá el producto a nivel consumidor.

En este caso se evaluaron los parámetros mas importantes entre los cuales se consideran: apariencia, sabor, aroma y textura. Las rodajas de banano bocadillo que presentaron menor aceptación fueron las secas a 65°C ya que presentaban una coloración bastante desagradable (Figura 27, 28 y 29), atribuible a la alta actividad enzimática presentada por las rodajas de banano bocadillo a esta temperatura, dentro de estas las rodajas de banano bocadillo expuestas a DAC a 65°C por dos horas (Figura 27), presenta un porcentaje alrededor de 70%, de poca aceptación por ser rodajas chatas, no características y sobretodo manchadas (1b)

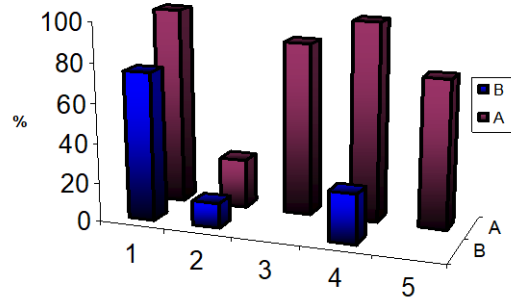


Figura 27. Resultado prueba sensorial de rodajas de banana bocadillo DAC a 65°C durante 120min.

Las rodajas de banana bocadillo secas a 65°C durante 180 min presentaron un grado de aceptación menor, ya que presentaba como se observa en la Figura 28 un sabor astringente, además de la coloración no característica del fruto DAC.

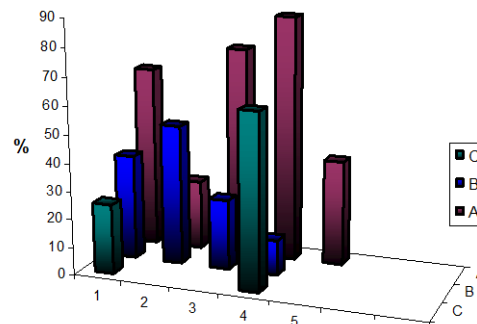


Figura 28. Resultado prueba sensorial de rodajas de banana bocadillo DAC a 65°C durante 180min.

Para frutos DAC a 65°C y durante 240 min, (Figura 29), se puede apreciar como el color persiste, no es característico del fruto y además con otra característica desagradable en aumento, es un fruto duro al paladar (60% de los catadores)

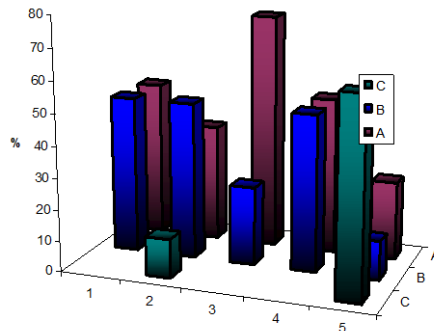


Figura 29. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 65°C durante 240min.

Las rodajas de banano bocadillo secadas a 70°C presentaron gran aceptación en los catadores, como se puede apreciar (Figura 30 y 31) por presentar características agradables de sabor, color, olor y textura, un 100% de aceptación entre los catadores lo que importante en cuanto a los parámetros de calidad evaluados en la presente investigación.

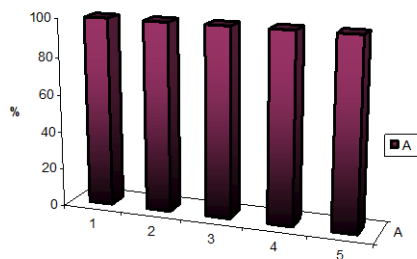


Figura 30. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C durante 120min.

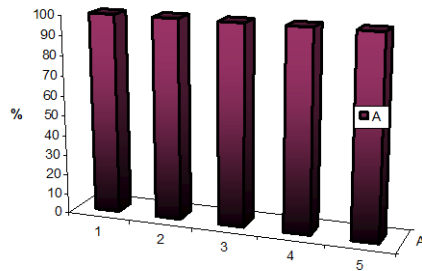


Figura 31. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C durante 180min.

En el caso de las rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C durante 240 minutos, la aceptación fue menor ya que presento entre los catadores, dureza al paladar (50%), y además un sabor astringente (Figura 32), esto tal vez atribuible a el relativo largo periodo sometido a DAC.

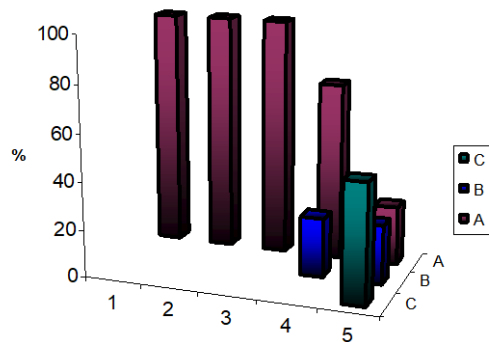


Figura 32. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 70°C durante 240min.

En los frutos expuestos a DAC a 75°C durante 120 min y 180 min, se presentaron un mismo patrón de aceptación (Figura 33 y 34), fueron rodajas no características en cuanto a color, sabor y textura.

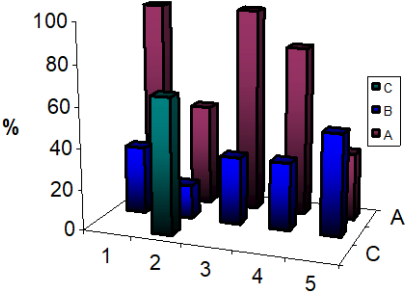


Figura 33. Resultado prueba sensorial de rodajas de banana bocadillo DAC a 75°C durante 120min.

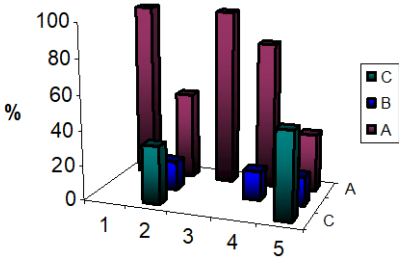


Figura 34. Resultado prueba sensorial de rodajas de banana bocadillo DAC a 75°C durante 180min.

En el caso de las rodajas de banana bocadillo DAC a 75°C y durante 240 min, la aceptación fue mayor aunque la inconformidad de los catadores se presentó en el carácter de las rodajas, estas presentan dureza (50%), lo cual da al fruto



características indeseables. (Figura 35), esto como ya se mencionó producto del tiempo de secado.

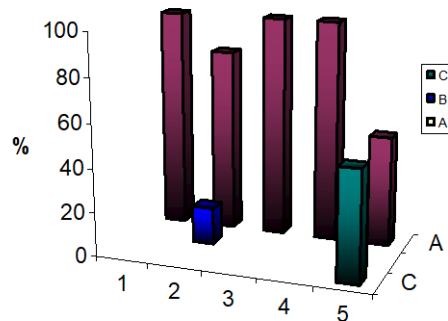


Figura 35. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 75°C durante 240min.

Para el caso de las rodajas de banano bocadillo DAC a 80 °C y durante 120 min, la aceptación fue buena comparada con los otros dos tiempos presente (Figura 36) un 20% no aceptación por el color amarillo que presentaban las rodajas, un 40% de no aceptación por ser rodajas no uniformes y regulares y un 20% de no aceptación por presentar un sabor astringente, esto tal vez atribuible a que esta temperatura es muy alta para el secado de banano bocadillo o frutos en general.

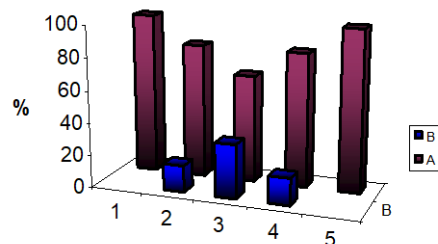


Figura 36. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 80°C durante 120min.

Para las rodajas de banano bocadillo secas a 80°C y durante un tiempo de 180, 240 min la aceptación fue poca ya que son rodajas que presentan (Figura 37 y 38): colores desagradables diferentes a amarillo característico, de carácter duro al paladar, no agradable a la hora de degustarlas, esto se puede deber a que la temperatura es relativamente alta y los tiempos de secado son prolongados.

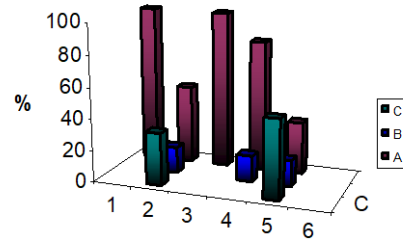


Figura 37. Resultado prueba sensorial de rodajas de banano bocadillo DAC a 80°C durante 180min.

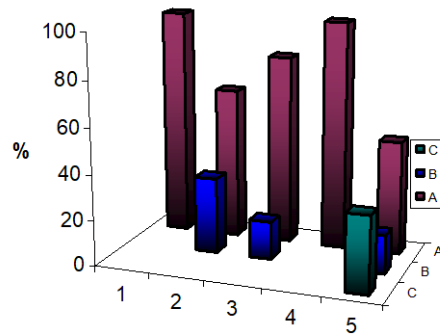


Figura 38. Resultado prueba sensorial de rodajas de banana bocadillo DAC a 80°C durante 240min.

Es así como para los catadores prefirieron la calidad organoléptica de las rodajas secadas a 70 °C, durante 120 min. y 180min, por presentar características agradables y cercanas a las del fruto fresco.

## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados la temperatura de escaldado a la cual se obtiene la mayor inactivación enzimática en banano bocadillo (*Musa acuminata*) tanto de PPO, como POD es de 85°C durante un tiempo de 15 seg.
- Se descartan las operaciones de escaldado de las rodajas de banano bocadillo y agitación del jarabe, por no contribuir al proceso de DO ya que la agitación produce la migración de solutos de la solución osmótica al interior del tejido y el escaldado aumenta el flujo del agua hacia el interior celular.
- El proceso de DAC contribuye favorablemente a la eliminación del agua libre o disponible del interior de los tejidos que aun permanece luego de deshidratar osmóticamente las rodajas de banano bocadillo y por tanto la concentración de los sólidos solubles ya incorporados en la OD.
- Respecto al cambio de peso y volumen aparente de rodajas de banano bocadillo DAC presentan la misma pauta de disminución siendo muy acusada en los primeros tiempos de DAC para luego mantenerse prácticamente constante.
- La salida de agua del interior de las rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*) durante el proceso de deshidratación DAC, permite que los ácidos presentes para este caso ácido málico se concentren y por ende se de una disminución en el pH.
- La disminución de proteína y componentes volátiles del aroma en los tratamientos combinados de DO-AC, son atribuidos a las temperaturas relativamente altas (65°C, 70°C, 75°C y 80°C) con las que se efectúa la DAC.

- Dados los resultados de aceptación del producto terminado, los buenos resultados mostrados por el fruto frente a la actividad enzimática y además excelentes resultados en las propiedades fisicoquímicas evaluadas se determina que la temperatura recomendable de secado en una estufa de aire forzado es 70 °C durante un periodo de 180min, para rodajas de banano bocadillo (*Musa acuminata*) con un espesor de 2 mm.

## 8. RECOMENDACIONES

- Al iniciar la presente investigación se pensó realizar la deshidratación por métodos combinados de secado por liofilización, se recomienda realizar ensayos por este método y comparar con el método de secado por aire caliente.
- Se recomienda hacer estudios con recubrimientos de películas biodegradables tales como almidón de plátano, almidón de yuca, quitosano, arena de amaranto, compuestos celulósicos (HPMC) usados con el fin de preservar la vida útil de los alimentos evitando la deshidratación, daños físicos y daños microbianos, como otra alternativa a la DO-AC, ya que los estudios actuales van enfocados hacia esta técnica.
- Realizar estudios a las soluciones deshidratantes para establecer el número de veces que puede ser reutilizada antes de ser desechada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

**Alzamora, S. M.** 1989. Fundamentos del método de conservación por factores combinados. Departamento de industrias. Facultad de ciencias exactas y naturales. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

**Alzamora, S. M.; Tapia, M.S.; Argaiz, A. y Welti, j.** 1998. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. Food Res. Internat. 26: 125.

**AOAC.** 1997. Official Methods of analysis, 16th Edition, Tercera Revision. Association of official analytical chemists. Washington, D.C. USA

**Ayala, A. 2001.** Aplicación de la deshidratación osmótica e impregnación a vacío en la crioprotección del mango. Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.

**Azcon-Bieto, J.; Talon M.** (1996). Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial Interamericana Mc Graw Hill. Madrid, España. pp 18, 181, 463 – 478.

**Bradford M.** 1976. Anal Biochem., 72, 248.

**Cano, P.; Marín, M.A.; Fuster, C.** (1990). Effect of some thermal treatments on Polyphenoloxidase and peroxidase activities of banana (*Musa cavendishii*, var enana). J. Sci food Agric, (51),223-231.

**Cano, P.; Marín, M.A.; Fuster, C.** (1990). Freezing of banana slices. Influence of maturity level and thermal treatment prior to freezing. Journal of food science, 55(4)1070-1072.

**Cano, M., De Ancos, B., Lobo, G.** 1995. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in papaya during postharvest ripening and after freezing/thawing. *J Food Sci.* 4(60) 815 – 817.

**Carballo, B.M.** (1989). Tecnología post-recolección de frutas y hortalizas. Colección información técnica agraria, serie agricultura, consejería de agricultura y comercio de la junta de Extremadura. España

**Camacho, G.** 2002. Osmodeshidratación de frutas. Instituto de ciencia y Tecnología de alimentos ICTA, Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.

[www.virtualunal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm](http://www.virtualunal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm)

(consultada septiembre 2004)

**Clement, K.; Castaigne, F.; Maharaj, R.** 1996. The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International journal of food science and technologies.* England. 31(2), pp. 123-135

**Fischer, R.B.; Peters, D.G.** (1971). Compendio de análisis químico cuantitativo. Primera edición. Editorial Interamericana. México. p. 165.

**Fito, P., Rodríguez, A.,** 1998. Deshidratación de zanahoria en rodajas. En: *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos.* Editores: P. Fito- J. Serna- E. Hernandez- D. Vidal. Volumen IV. Valencia. España. pp. 641-656

**Fito, P.; Vidal, D.; Gras, M.L.; Gimeno, V.** (2001). Estudio de la evolución del contenido en azúcares de dátiles españoles tipo sometidos a deshidratación osmótica. III Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. I Congreso



Español de ingeniería de Alimentos CIBIA. En: Ingeniería de alimentos nuevas fronteras en el siglo XXI. Tomo II Valencia, España. pp. 267-272.

**Flores del Valle. W.**, 2004. Deshidratación del tomate. Programa de apoyo a la microempresa rural de América Latina y el Caribe, PROMER.. San José, Costa Rica. Junio.

[www.Promer.Org/getdoc.Php?docid=661](http://www.Promer.Org/getdoc.Php?docid=661) (consultada septiembre 20 de 2004)

**Fúster, C., Préstamo, G., Cano, M.** 1994 Drip loss, peroxidase and sensory changes in kivi fruti slices during frozen storage. J Sci Food Agric 64, 23-29.

**Garcia, E. Sierra, J.A.** 1994. Estudio de la calidad microbiológica en la conservación del kivi sometido a deshidratación osmótica a vacío. En: Anales de la investigación del master en ciencia e ingeniería de alimentos. Volumen IV. Editores: P. Fito- J. Serna- E. Hernandez- D. Vidal. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España. pp. 65-83

**Gómez, A. López, A.**, 2004. Evolución de las propiedades físicas y Bioquímicas durante la cinética de deshidratación osmótica del Banano Bocado (*Musa acuminata*). Trabajo de grado, Programa de Química, facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

**Haad , N.F. Tobin, L.** 1971. Patterns of soluble peroxidase in ripening banana fruit. Journal of food science, 36, 854-857

**Hart, F.L.; Fisher, H.D.** (1991). Análisis Moderno de los Alimentos. De la edición en lengua española, Editorial Acribia. Zaragoza (España).

[www.orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_humedad.htm](http://www.orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_humedad.htm)

**Hernández, T.; Bernalte, M.G.; Sabio, E.; Vidal-Aragón, M.C.** (1997).

Actividad

peroxidasa y polifenoloxidasa de dos variedades de cereza durante la maduración.

En: Alimentaria. pp. 45 – 48.

**Kasatkin A.** 1985. Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. Editorial Mc Graw Hill, Montreal, Canadá. Tomo 1. pp. 262-366

**Krokida M,K; Karathanos, V.T.; Maroulis, Z.B.** 2000. Effect of osmotic dehydration on color and sorting characteristics of apple and banana, Drying technology and international journal. 18 (4-5), pp. 937-950

**Leistner, L., Gould, G.** 2002. Combination treatments for food stability, safety and quality. Hurdle technologies. Food Engineering Series. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York. USA.

[www.chipsbooks.com/hurdle.htm](http://www.chipsbooks.com/hurdle.htm) (Consultada Octubre 2004)

**Leistner L. H.;** 2000. Technology in the Design of Minimally Processed Foods. En: *Minimally Processed Fruits and Vegetables*.

[www.foodnetbase.com/ejournals/books/book\\_summary/toc.asp?id=926](http://www.foodnetbase.com/ejournals/books/book_summary/toc.asp?id=926)

(Consultada Octubre 2004)

**Lehninger, A.** 1982. Bioquímica de las bases moleculares de la estructura y función celular. Editorial Omega, S.A. Barcelona. España. pp. 179,182, 183,795, 796.

**Lewis, M.J.** 1993. Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de procesado. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España. pp.41-45

**Lima, S., Barbosa, N., Sucupira, M., Souza, A.** 1994. Polyphenoloxidase activity, polyphenols concentration and browning intensity during Soursop (*Annona muricata*, L.) maturation. J Food Sci 59(5) 1050-1052.

**MacDonald, L.; Schaschke, C.J.** (2000) combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana (*Musa acuminata*). J Csi Food Agric 80,719-724.

**Mafart, P.** 1994. Ingeniería Industrial Alimentaria. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza (España). Pag 456

**Marriot, J.** (1980). Bananas physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. CRC.

**Merino, F.S.,** 2002 Elaboración de láminas de fruta a partir de pulpa de Murta congelada. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Baldibia, Chile.

[www.murtillachile.cl/investi.asp](http://www.murtillachile.cl/investi.asp) ( Consultada Noviembre 2004)

**Meyer, M.;Paltrinieri, G.;Olmos, U.; Medina, J.** 1983. Control de calidad de productos agropecuarios. Segunda reimpresión. Editorial Trillas. Mexico D.F. Mexico. pp. 57-59

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Corporación Colombia Internacional (CCI).** 2002. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. Bogotá Colombia. Septiembre.

[www.exportacion/bananito\cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Frutas/Banani to bananito04.htm](http://www.exportacion/bananito\cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Frutas/Banani%20to%20bananito04.htm) (consultado septiembre 16 de 2004)

**Mora, R.**, 2000. Principales constituyentes volátiles del aroma de lulo la selva durante la maduración Trabajo de grado, Programa de Química, facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

**Moraga G.** (2002). Aspectos fisicoquímicos relacionados con la crioprotección de fresa y kiwi. Tesis doctoral. Departamento de tecnología de Alimentos. Universidad politécnica de Valencia. Valencia, España.

**Nuez, F; Gil, R; Costa, J.** 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Edición Mondiprensa. España. Pp 550-553

**Palmer, J.K.** (1971). The banana. En: The biochemistry of fruits and the products. Editorial Hulme, AC. Volumen II. Academic press, Londres.

**Pinzòn, M.** 2000. Evolución de la composición de las propiedades físicas durante el crecimiento y maduración de híbridos de lulo, *Solanum quitoense Lam.*, Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.

**Rausel, O; Ruiz-Díaz, G.** 2001. Secado combinado mediante microondas y aire caliente de rodajas de naranja. Series de ciencia e ingeniería de alimentos. España. Pp 315-334

**Skoog, D.A.; Holler, F.J.; Nieman, T.A.** (2001) Principios de análisis instrumental. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill. España. pp. 344, 346, 347, 786 – 797.

**Sinmonds N.W.** (1973) "Técnicas agrícolas y producciones tropicales". Editorial Bunme.  
pp. 63, 76, 77, 139, 152-160, 161-167, 231-236, 269-272, 274-275.

**Suarez, M.; Duque, C.** (1991). Volatile Constituents of Lulo (*Solanum vestissimum* D.) Fruit. J. Agric. Food Chem. Vol 39, N° 8.

**Suarez, M.; Duque, C.** (1992) Change in Volatile Components during Lulo (*Solanum vestissimum* D.) Fruit Maturation. J. Agric. Food Chem. Vol 40, N° 4.

**The almanac of the canning.** (1970). Freezing and preserving industries. Pp 223-329

**Vega, A., Fito P.** 2001. Ingeniería de alimentos nueva frontera en el siglo XXI. Tomo II. Deshidratación de alimentos y propiedades relacionadas. España. Pp 223-228

**Waliszewski, K.N.; Garcia, R.H.; Ramirez, M.; Garcia, M.A.;** 2000. Polyphenol oxidase activity in banana chips during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 18(6), pp 1327-1337.

## ANEXOS

### ANALISIS DE VARIANZA SIMPLE

**Tabla 1. Contraste Múltiple de Rango para peso según método para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
método	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
2	3	1,08268	X	
1	3	1,17733	XX	
3	3	1,47977	XX	
4	3	1,65647	X	
Contraste				
Contraste		Diferencias		+/- Límites
1 - 2		0,0946556		0,499105
1 - 3		-0,302433		0,499105
1 - 4		-0,479133		0,499105
2 - 3		-0,397089		0,499105
2 - 4		*-0,573789		0,499105
3 - 4		- 0,1767		0,499105

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla 2. Contraste Múltiple de Rango para SS según método para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
Método	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
1	3	45,0667	X	
2	3	50,0556	X	
3	3	50,3333	X	
4	3	51,1333	X	
Contraste				
Contraste		Diferencias		+/- Límites
1 - 2		-4,98889		6,08734
1 - 3		-5,26667		6,08734
1 - 4		-6,06667		6,08734

2 - 3	-0,277778	6,08734
2 - 4	-1,07778	6,08734
3 - 4	-0,8	6,08734

**Tabla 3. Contraste Múltiple de Rango para Actividad de agua según método para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
método	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
	4	3	0,793333	X
	3	3	0,826667	X
	2	3	0,913333	X
	1	3	0,93	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,0166667	0,0352249
1 - 3	*0,103333	0,0352249
1 - 4	*0,136667	0,0352249
2 - 3	*0,0866667	0,0352249
2 - 4	*0,12	0,0352249
3 - 4	0,0333333	0,0352249

\*indica una diferencia significativa.

**Tabla 4. Contraste Múltiple de Rango para %H según método para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
método	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
1	3	38,1967	X	
2	3	39,72	X	
4	3	39,72	X	
	3	3	43,6967	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	-1,52333	8,19018
1 - 3	-5,5	8,19018
1 - 4	-1,52333	8,19018
2 - 3	-3,97667	8,19018
2 - 4	0,0	8,19018
3 - 4	3,97667	8,19018

\*indica una diferencia significativa.

**Tabla 5. Contraste Múltiple de Rango para pH según método para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

metodo	Método: 95,0 porcentaje LSD		
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
2	3	4,2	X
1	3	4,51	XX
3	3	4,52	XX
4	3	4,76667	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	0,31	0,441801
1 - 3	-0,01	0,441801
1 - 4	-0,256667	0,441801
2 - 3	-0,32	0,441801
2 - 4	*-0,566667	0,441801
3 - 4	-0,246667	0,441801

\* indica una diferencia significativa.



## MODELO PARA ANÁLISIS DE INTERACCIÓN DE VARIABLES

**Tabla 6. Interacciones de temperatura y tiempo respecto al peso para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III						
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor	
temperatura	1,09272	3	0,364242	32,64	0,0000	
tiempo	0,0293369	2	0,0146684	1,31	0,2734	
temperatura*tiempo	0,566838	6	0,0944731	8,47	0,0000	
Residuos	1,07119	96	0,0111582			
Total (corregido)			2,76009	107		

**Tabla 7. Comparaciones múltiples para peso según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
tiempo	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
2	36	0,729817	0,0176054	X
4	36	0,735947	0,0176054	X
3	36	0,767439	0,0176054	X
Contraste		Diferencia	+/- Limites	
2 - 3		-0,0376222	0,0494218	
2 - 4		-0,00613056	0,0494218	
3 - 4		0,0314917	0,0494218	

- denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 8. Comparaciones múltiples para peso según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD					
temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos	
	80	27	0,579415	0,020329	X
	75	27	0,750181	0,020329	X
70	27	0,807507	0,020329	X	
	65	27	0,8405	0,020329	X
Contraste		Diferencia		+/- Límites	
65 - 70		0,0329926		0,0570674	
65 - 75		*0,0903185		0,0570674	
65 - 80		*0,261085		0,0570674	
70 - 75		*0,0573259		0,0570674	
70 - 80		*0,228093		0,0570674	
75 - 80		*0,170767		0,0570674	

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 9. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a sólidos solubles (<sup>o</sup>Brix) para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
tiempo	167,291	2	83,6453	21,10	0,0000
temperatura	42,5159	3	14,172	3,58	0,0168
tiempo*temperatura	215,286	6	35,881	9,05	0,0000
Residuos	380,504	96	3,96359		
Total (corregido)			805,597	107	

**Tabla 10. Comparaciones múltiples para Brix según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD					
tiempo	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos	
2	36	68,3778	0,331813	X	
4	36	69,9806	0,331813	X	
3	36	71,425	0,331813	X	
Contraste		Diferencia		+/- Limites	
2 - 3		*-3,04722		0,931464	
2 - 4		*-1,60278		0,931464	
3 - 4		*1,44444		0,931464	

- denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 11. Comparaciones múltiples para Brix según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD					
temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos	
70	27	69,1852	0,383144	X	
80	27	69,4926	0,383144	X	
75	27	70,2519	0,383144	XX	
65	27	70,7815	0,383144	X	
Contraste		Diferencia		+/- Limites	
65 - 70		*1,5963		1,07556	
65 - 75		0,52963		1,07556	
65 - 80		*1,28889		1,07556	
70 - 75		-1,06667		1,07556	
70 - 80		-0,307407		1,07556	
75 - 80		0,759259		1,07556	

- denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 12. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a Actividad de agua para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
tiempo	0,000116667	2	0,0000583333	0,03	0,9685
temperatura	0,26341	3	0,0878034	48,26	0,0000
tiempo*temperatura	0,15772	6	0,0262867	14,45	0,0000
Residuos		96	0,00181921		
Total (corregido)			0,595892	107	

**Tabla 13. Comparaciones múltiples para aw según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
tiempo	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
	4	36	0,519167	0,00710871 X
	3	36	0,52	0,00710871 X
	2	36	0,521667	0,00710871 X
Contraste			Diferencia	+/- Limites
2 - 3			0,00166667	0,0199555
2 - 4			0,0025	0,0199555
3 - 4			0,000833333	0,0199555

- denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 14. Comparaciones múltiples para aw según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos

80	27	0,454444	0,00820843	X
65	27	0,515556	0,00820843	X
75	27	0,517407	0,00820843	X
70	27	0,593704	0,00820843	X
-----				
Contraste		Diferencia	+/- Limites	
-----				
65 - 70		*-0,0781481	0,0230427	
65 - 75		-0,00185185	0,0230427	
65 - 80		*0,0611111	0,0230427	
70 - 75		*0,0762963	0,0230427	
70 - 80		*0,139259	0,0230427	
75 - 80		*0,062963	0,0230427	
-----				

- denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 15. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a %Humedad para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
tiempo	59649,6	2	29824,8	0,97	0,3841
temperatura	222471,0	3	74156,9	2,40	0,0723
tiempo*temperatura	177556,0	6	29592,6	0,96	0,4572
	2,96226E6	96	30856,9		
-----					
Total (corregido)			3,42194E6	107	

**Tabla 16. Comparaciones múltiples para Humedad según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD

temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
80	27	6,82474	33,806	X
65	27	10,5033	33,806	X
75	27	41,3796	33,806	XX
70	27	119,698	33,806	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
65 - 70	*-109,195	94,9002
65 - 75	-30,8763	94,9002
65 - 80	3,67859	94,9002
70 - 75	78,3185	94,9002
70 - 80	*112,873	94,9002
75 - 80	34,5549	94,9002

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 17. Comparaciones múltiples para Humedad según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

tiempo	Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
4	36	11,3738	29,2769	X
3	36	60,5744	29,2769	X
2	36	61,8561	29,2769	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
2 - 3	1,28167	82,186
2 - 4	50,4823	82,186
3 - 4	49,2006	82,186

• denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 18. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a Volumen aparente para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

**Sumas de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
temperatura	0,566383	3	0,188794	7,59	0,0001
tiempo	0,348537	2	0,174268	7,00	0,0014
temperatura*tiempo	0,850416	6	0,141736	5,70	0,0000
Residuos	2,38893	96	0,0248847		

Total (corregido) 4,15426 107

**Tabla 19. Comparaciones múltiples para V aparente según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD					
temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos	
80	27	0,501252	0,0303588	X	
70	27	0,589593	0,0303588	X	
65	27	0,60805	0,0303588	X	
75	27	0,705152	0,0303588	X	
Contraste		Diferencia		+/- Limites	
65 - 70		0,0184574		0,085223	
65 - 75		*-0,0971019		0,085223	
65 - 80		*0,106798		0,085223	
70 - 75		*-0,115559		0,085223	
70 - 80		*0,0883407		0,085223	
75 - 80		*0,2039		0,085223	

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 20. Comparaciones múltiples para Volumen aparente según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
tiempo	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
2	36	0,548522	0,0262915	X
4	36	0,574583	0,0262915	X
3	36	0,679929	0,0262915	X
Contraste		Diferencia		+/- Limites
2 - 3		*-0,131407		0,0738053
2 - 4		-0,0260611		0,0738053
3 - 4		*0,105346		0,0738053

**Tabla 21. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a pH para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
tiempo	2,67356	2	1,33678	62,76	0,0000
temperatura	8,48563	3	2,82854	132,80	0,0000
temperatura*tiempo	4,67629	6	0,779382	36,59	0,0000
	2,0448	96	0,0213		
Total (corregido)			17,8803	107	

**Tabla 22. Comparaciones múltiples para pH según temperatura para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD

temperatura	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
70	27	4,15074	0,0280872	X
75	27	4,40852	0,0280872	X
65	27	4,80074	0,0280872	X
80	27	4,81852	0,0280872	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
65 - 70	*0,65	0,0788462
65 - 75	*0,392222	0,0788462
65 - 80	-0,0177778	0,0788462
70 - 75	*-0,257778	0,0788462
70 - 80	*-0,667778	0,0788462
75 - 80	*-0,41	0,0788462

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.



**Tabla 23. Comparaciones múltiples para pH según tiempo para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Método: 95,0 porcentaje LSD				
tiempo	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
4	36	4,32444	0,0243242	X
3	36	4,62694	0,0243242	X
2	36	4,6825	0,0243242	X
Contraste			Diferencia	+/- Limites
2 - 3			0,0555556	0,0682828
2 - 4			*0,358056	0,0682828
3 - 4			*0,3025	0,0682828

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 24. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a PPO para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
temperatura	0,0000289315	3	0,00000964383		
tiempo	0,0000214489	2	0,0000107245		
temperatura*tiempo	0,0000168996	6	0,00000281659		
Residuos	0,0	96	0,0		
Total (corregido)	0,00006728	107			

**Tabla 25. Interacciones de temperatura y tiempo respecto a POD para rodajas de banano bocadillo sometidas a DAC**

Sumas de Cuadrados Tipo III

---

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
temperatura	0,00820395	3	0,00273465		
tiempo	0,00102605	2	0,000513026		
temperatura*tiempo	0,00125519	6	0,000209199		
Residuos	0,0	96	0,0		
Total (corregido)		107	0,0104852		

---