

**Optimización del proceso de escaldado y
deshidratación osmo-convectiva de banano
(*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish)**

Andrés Eduardo Sanchez Ampudia

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Abril, 2017**

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Optimización del proceso de escaldado y deshidratación osmo-convectiva de banano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Andrés Eduardo Sanchez Ampudia

Zamorano, Honduras

Abril, 2017

Optimización del proceso de escaldado y deshidratación osmo-convectiva de banano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish)

Andrés Eduardo Sanchez Ampudia

Resumen. El banano deshidratado es un producto comercialmente aprovechable por las características de su producción y adaptable a tendencias modernas y diferenciación. El objetivo del estudio fue optimizar características de banano tratado con deshidratación osmo-convectiva con escaldado (DO); compararlo con procesos convencionales y definir los costos variables. En la primera fase se usó Superficie de Respuesta para optimizar el tiempo de escaldado por inmersión (3.9–6.4 min) y concentración de solución osmótica (50.9–79.1 °Brix). En la segunda fase, se implementó un diseño de Bloques Completos al Azar, contrastando parámetros químicos, físicos y sensoriales del tratamiento de optimización y secado convectivo con y sin escaldado. La optimización (primera fase) resultó en la combinación de niveles centrales (6 min, 65 °Brix) reduciéndose la A_w (0.66) e incrementándose el nivel de sólidos solubles (0.78 °Brix) y la fracturabilidad (0.16 N). En la segunda fase, no se identificaron diferencias en A_w (0.66) ni Luminosidad (71.2 ± 0.2). Sin embargo, el tratamiento de DO mostró mayor rendimiento (52.9%), evidencia de textura fracturable y superficie compactada con coloración más uniforme. Este tratamiento generó un producto con calificación de “me gusta moderadamente” (7 en escala hedónica 1-9) y de mejor aceptación sensorial que los controles. Los costos variables del proceso fueron 33.8% más altos en DO que en secado convectivo sin escaldado, limitados principalmente por los equipos referenciados y el volumen evaluado. Se recomienda el estudio microbiológico, nutricional y de factibilidad para el banano tratado por el proceso de DO.

Palabras clave: Color uniforme, diferenciación, mayor aceptación, superficie de respuesta.

Abstract. Dehydrated bananas are a commercially profitable product because of its production characteristics, its adaptability to modern trends and their differentiation. The aim of the study was to optimize the sensorial characteristics of treated bananas by osmo-convection drying with scalding (OD), compare it with conventional dehydration processes and define their variable costs. In the first phase, a response surface was used to optimize immersion scalding time (3.6–6.4 min) and concentration of osmotic solution (50.9–79.1 °Brix). In the second phase, a BCA model was used to contrast Chemical, physical and sensorial parameters calculated against of the optimal treatment and convective drying with and without scalding. The optimal treatment (first phase) result in the combination of central treatments (6 min, 65 ° Brix), reduced the A_w (0.66) and increase soluble solids (0.78 °Brix) and fracturability (0.16 N). In second phase, no differences were identify in A_w (0.66) and Luminosity (71.2 ± 0.2). OD treatment obtained a better yield (52.91%), and evidences of fracturability in texture and compacted surface with more homogeneous coloration. This treatment obtained an "I like moderately" acceptance calcification (7 of hedonic scale 1-9) and better sensory acceptance than the controls. The variable costs were 33.8% higher in DO than conventional convective dehydration, mainly limited by referenced equipment and volume evaluated. Study recommends the microbiological, nutritional and financial feasibility studies for banana treated by OD process.

Key words: Differentiation, higher acceptance, response surface, uniform color.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	31
5. RECOMENDACIONES.....	32
6. LITERATURA CITADA.....	33
7. ANEXOS	36

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Niveles de las variables en sus puntos cuadráticos, axiales y centrales	5
2. Coeficientes de regresión para actividad de agua de banano deshidratado	10
3. Resultados de banano deshidratado por tratamientos del punto central 6 (min) de escaldado y 65 (°Brix) en solución osmótica	11
4. Coeficientes de regresión para sólidos solubles en de banano deshidratado	13
5. Coeficientes de regresión para fracturabilidad de banano deshidratado	15
6. Niveles de respuesta en parámetros químicos de la segunda fase	17
7. Niveles de respuesta en parámetros físicos de textura de la segunda fase	20
8. Análisis estadístico para parámetros de color de la segunda fase	22
9. Distribución de color por sectores, en tratamientos de la segunda fase	24
10. Medias y desviación estándar de atributos sensoriales de la segunda fase	26
11. Parámetros más influyentes en la aceptación de banano deshidratado	27
12. Rendimiento de tratamientos de deshidratación en la segunda fase	28
13. Costos de deshidratación por diferentes procesos para 10 kg de banano deshidratado.....	30

Figuras	Página
1. Flujo de procesos para deshidratación osmo-convectiva de banano	4
2. Gráfica explicativa de tratamientos codificados y decodificados	6
3. Distribución de mediciones de color por sectores	8
4. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en actividad de agua de banano deshidratado	12
5. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en sólidos solubles de banano deshidratado	14
6. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en fracturabilidad de banano deshidratado	15
7. Gráfica de deseabilidad para banano tratado con deshidratación osmo-convectiva con escaldado	16
8. Comparación de texturas por fotografías de los tratamientos de la segunda fase	20
9. Contraste entre fotografías de los tratamientos, originales y los sectores definidos y resaltados con color blanco	23

Anexos	Página
1. Boleta de evaluación sensorial	35
2. Explicación de resultados en preliminares	36
3. Estimación de la calidad y la vida útil del banano generado por el estudio	37

1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias de consumo alimenticio en los últimos años han llevado a la agroindustria alimentaria a innovar con marcados patrones de conveniencia, enfocados en etiquetas limpias y con responsabilidad social y ambiental (Picaza 2016). Las frutas deshidratadas se comercializan como snack de etiquetas limpias y con diferenciación por trazabilidad y producciones sostenibles, características compatibles con estas tendencias. El banano (*Musa paradisiaca* spp.) es una planta herbácea-perene, de amplia producción extensiva en áreas tropicales y subtropicales de todo el mundo. Su fruto es un alimento perecedero que se consume principalmente fresco y con estándares estéticos y de calidad muy rigurosos para mercados internacionales.

Aunque se conocen más de 300 variedades de banano, la variedad Cavendish es la de mayor producción mundial por estandarización y preferencias (FAO 2016). Su comercio mundial lo hace un producto importante para la economía de muchos países en desarrollo y las poblaciones rurales que lo producen. Anualmente en el mundo se producen alrededor de 100 millones de toneladas de banano, del cual se desperdicia un 15% aproximadamente. En Honduras se estima una producción de entre 750 y 800 toneladas anuales, con porcentajes que oscilan el 60% como exportación y el 6% como desperdicio (FAO 2016). Las principales áreas de producción en Honduras son los municipios de Atlántida, Cortés y Gracias a Dios, siendo principalmente importante en la costa atlántica.

Una forma de alargar la vida comercial del banano es la deshidratación, siendo importante mejorar la estabilidad en el almacenamiento y preservar las propiedades sensoriales para que se asimile a un producto fresco (Contreras 2006). Siendo las desventajas más grandes el pardeamiento y los costos de proceso, el escaldado y la deshidratado por combinación de técnicas son la mejor opción para la mejora en la calidad sensorial.

El escaldado es una técnica que reduce la carga microbiana, elimina enzimas que deterioran la calidad (Morales 1999) y facilita el proceso de deshidratación por ablandamiento de tejidos (Suárez 2003). La deshidratación osmo-convectiva “DO” comprende la extracción de humedad por deshidratación osmótica y secado convectivo, abaratando costos, mejorando la textura y reduciendo el tiempo del proceso (Millán y Ostojich 2005). La deshidratación osmótica se basa en los principios físicos de difusión y ósmosis que explican la tendencia de las moléculas disueltas a desplazarse de un gradiente mayor a uno menor hasta alcanzar un equilibrio (Gaspareto *et al.* 2004). El secado convectivo consiste en el barrido de humedad del producto al exponerlo a un flujo de aire caliente, determinando su duración por la forma, área de contacto y humedad de la matriz; y la velocidad y temperatura del aire (Gutiérrez 2000).

Para el modelado empírico de procesos de deshidratación osmótica existen un potencial en diseños experimentales rotables, por la construcción y evaluación estadística de superficie de respuesta (Millán y Ostojich 2005). Siendo la deshidratación del banano un proceso muy utilizado por la agroindustria, existen muchos estudios sobre sus métodos y combinaciones de tecnologías, brindando precedentes para definir el proceso y los tratamientos del estudio. Se conoce que el escaldado mejora la preservación del color y sabor del banano (Andrade y Castro 2009), la deshidratación osmótica mejora características sensoriales y genera mayor impacto en la reducción del tiempo (Gaspareto *et al.* 2004) y el secado convectivo es la técnica más barata y de mayor uso a nivel industrial (Morales 1999). Según el estudio de Vizueta (2008) en deshidratación osmótica de banano, la pérdida de humedad oscila el 50% del peso en aproximadamente dos horas con solución de 60 °Brix y 50 °C y agitación constante. Comparando procesos de literatura y mediante una prueba preliminar se definieron los parámetros del proceso de deshidratación osmo-convectiva, buscando mejores resultados sensoriales y menores costos. El resultado se espera que beneficie al interesado en el deshidratado de banano, a empresas que busquen mejorar la calidad final de sus productos deshidratados y generar un precedente para futuros estudios.

Existen muchos factores nutricionales y microbiológicos que se podrían probar en este estudio, pero por cuestiones económicas, logísticas y operacionales no se realizaron. Algunas ideas interesantes para mejorar los procesos de deshidratado son la fritura al vacío de chips deshidratados (Rodríguez *et al.* 2013), el uso de cloruro de sodio en proporciones bajas y la adición de compuestos fenólicos o nutricionales al proceso de la deshidratación osmótica (Rozék *et al.* 2008). En constancia con otras tendencias modernas, sería interesante la prueba de este producto en combinación con sabores ácidos, dulces o picantes; para una mayor diferenciación. Así también se podría utilizar el producto final como acompañante o ingrediente en productos lácteos como el yogurt o el helado, enfocando como prioridad el valor nutricional y la carga energética que provee. Asumiendo este proceso para niveles industriales, se podrían realizar estudios de factibilidad para su aplicación en pro del desarrollo rural y la generación de empresas verdes. La caracterización del producto con mayor aceptación para mercados específicos, el rendimiento económico de estos procesos, la productividad, su mejora; y la factibilidad de introducir estos productos en mercados Latinoamericanos son algunos estudios que se podrían realizar. Así, por la naturaleza investigativa y experimental del estudio, la aplicabilidad de su resultado no es solo el banano deshidratado en esencia, sino también la metodología utilizada como referente para medir y optimizar otros procesos.

Los objetivos del presente estudio fueron:

- Identificar los efectos del escaldado y la deshidratación osmo-convectiva de banano y un proceso de mayor deseabilidad en su caracterización físico-química.
- Comparar atributos del banano deshidratado por deshidratación osmo-convectiva con escaldado, y proceso de secado convencionales.
- Determinar los costos variables de la deshidratación osmo-convectiva con escaldado y secado convencional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio. Este estudio se realizó entre los meses de octubre y diciembre del 2016 en la Planta de Innovación en Alimentos, el Laboratorio de Análisis Sensorial y el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Preparación de unidades experimentales. Se usó banano de la variedad Cavendish obtenido con la Planta de Post Cosecha de Zamorano, en grados de madurez seis (frutos totalmente amarillos) y siete (con algunas rayas pardas). Los frutos fueron lavados, pelados y pesados procurando mantener frutos enteros y sin golpes o manchas. Los tratamientos con el mismo tiempo de escaldado se agruparon para optimizar el tiempo, evitar cortar frutos antes del escaldado, facilitar su manejo y asegurar la exactitud en los lapsos de tiempo de inmersión. Se calentaron alrededor de 2.0 L de agua a temperatura interna de 95 ± 3 °C, dependiendo del tratamiento se sumergieron los frutos por periodos de entre 3.59 min (3'35") y 6.41 min (6'25"). Al salir del escaldado los frutos fueron rebanados en rodajas de 1.75 ± 0.25 cm de espesor con 2.5 cm de diámetro promedio. En la segunda fase el escaldado de los tratamientos optimización y control 1 se realizó por 6.00 minutos (6'00") y se omitieron la deshidratación osmótica para el tratamiento control 1 y el escaldado y la deshidratación osmótica para el tratamiento control 2.

Deshidratado de muestras (osmótica y convectiva). Se usó un recipiente de acero inoxidable por tratamiento, manteniendo una proporción de 1:10, con azúcar comercial como soluto y agua potable como solvente. La solución fue homogenizada con un refractómetro digital de 0 - 85% Pocket Atago®, evaporando o aumentando agua hasta alcanzar la concentración esperada. Se sumergieron los tratamientos por 2.5 h en soluciones a 60 ± 2 °C, manteniendo agitación constante y aplicando calor únicamente para mantener un rango de temperatura entre 50 y 58 ± 2 °C. La revisión y control de temperatura se realizó con un termómetro de inmersión cada 5 min y con 30 s de enfriamiento entre cada medición. Al finalizar la deshidratación osmótica las muestras se enjuagaron muy superficialmente con agua tibia, se escurrieron por 30 s y se limpiaron los excesos de solución en la superficie con papel toalla. El secado convectivo se realizó con un deshidratador EXCALIBUR® Food Dehydrator por 11 h a 70 °C con velocidad de flujo de aire caliente de 2.0 ± 0.2 m/s. Se colocó un tratamiento por bandeja a una distancia de 2 ± 0.2 cm entre cada rodaja y en contacto directo con el flujo de aire. El secador se apagó automáticamente y después de aproximadamente 6 horas se pesaron, rotularon y empacaron al vacío las muestras de cada tratamiento en bolsas EVHO de 7*9 in (Figura 1). Para la segunda fase la deshidratación osmótica se realizó con 65 °Brix y para el secado convectivo solo se modificó el tiempo a 14 horas para los tratamientos control 1 y 2.

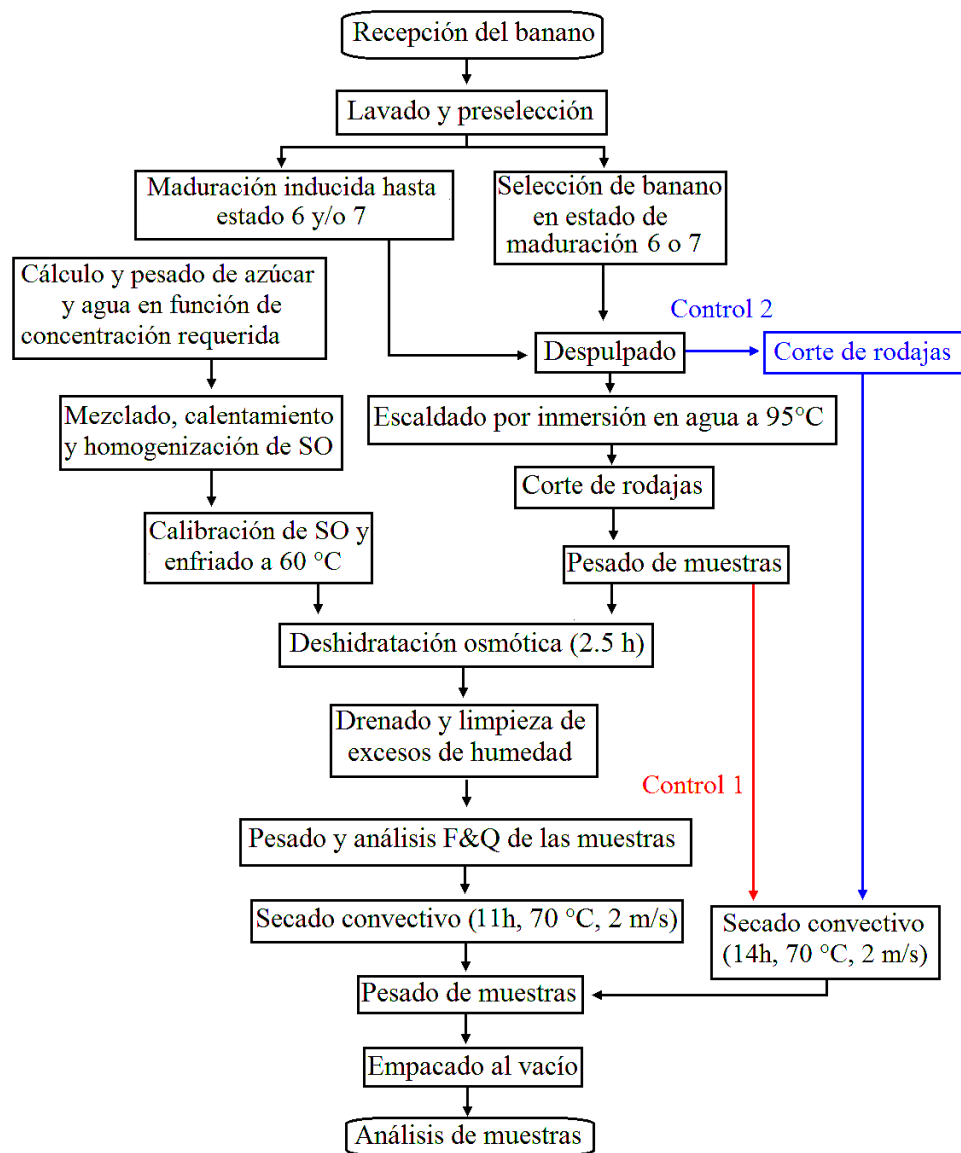


Figura 1. Flujo de procesos para deshidratación osmo-convectiva de banano

Diseño experimental. Se desarrollaron dos fases con objetivos y metodologías de análisis estadístico distintas. La primera fase buscó identificar los efectos del tiempo de escaldado y la concentración de solución osmótica, y un tratamiento de optimización de deshidratación osmo-convectiva de banano con escaldado, entendido como de resultados más deseables en su caracterización por los parámetros evaluados. En esta primera fase se evaluaron los parámetros de rendimiento, parámetros químicos actividad de agua, sólidos solubles (°Brix), potencial de Hidrógeniones y humedad (%), parámetros de textura ciclo de dureza (N), deformación según dureza (mm), número de fracturas (u), fracturabilidad (N) y masticabilidad (mJ) y parámetros de color (Luminosidad L^* , cromaticidad a^* (rojo-verde), cromaticidad b^* (azul-amarillo), h^* (tono) y C (croma).

La segunda fase buscó comparar los efectos generados por esta optimización contra controles de secado convectivo con y sin escaldado, en contraste con el banano fresco. En esta segunda fase se compararon los mismos parámetros de la primera además de parámetros físicos de color con la metodología usada por Agudelo y colaboradores (2012), aceptación en atributos sensoriales (Color, olor, textura, sabor, dulzura y aceptación general) y frecuencia en importancia de atributos. Con los rendimientos obtenidos se determinaron los costos variables de producir 10 Kg de banano deshidratado por los tratamientos evaluados en la segunda fase.

Para la primera fase, se usó un Diseño Central Compuesto (DCC) de segundo orden 2^2 con diez tratamientos, usando la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) con el programa estadístico ESTATISTICA 7[®] para Windows 7[®]. Se definieron como variables independientes del estudio el tiempo de escaldado (TE) y la concentración de la solución osmótica (CSO). Se generó un modelo factorial para dos variables independientes ($K=2$) con dos niveles cuadráticos y dos niveles axiales codificados como $+\alpha$ y $-\alpha$ (cuadro 1). Usando 2 como número factorial del estudio ($F=2^k$), el valor α fue calculado usando la ecuación 1.

$$\pm \alpha = (f)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = (2^2)^{1/4} = 1.4142 \quad [1]$$

Cuadro 1. Niveles de las variables en sus puntos cuadráticos, axiales y centrales

Variables independientes del estudio	$-\alpha^1$	-1^2	0^3	$+1$	$+\alpha$
X ₁ : Tiempo de escaldado (min)	3.58 (3:35)	4.00 (4:00)	5.00 (5:00)	6.00 (6:00)	6.41 (6:24)
X ₂ : CSO ⁴ (°Brix)	50.86	55.00	65.00	75.00	79.14

1: Puntos cuadráticos, **2:** Puntos axiales. **3:** Puntos centrales, **4:** Concentración de solución osmótica
(+): Niveles superiores, (-): Niveles inferiores.

Se calcularon los niveles axiales de las variables independientes del estudio usando la ecuación 2.

$$xi = (xiz/\Delta xi) \quad [2]$$

Dónde:

xi= Valor codificado de la variable

Xi= Valor real de la variable

Z= Valor real de la variable en el punto central

Δxi = Intervalo de la variable xi

El número de tratamientos fue calculado usando la ecuación 3 para un DCC, determinando el número de unidades experimentales con base en el número de repeticiones y combinaciones a evaluar.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [3]$$

Dónde:

2^k = Número de puntos factoriales

$2k$ = Número de puntos axiales

m = Número de repeticiones del punto central.

Por consiguiente, los tratamientos se decodificaron (Figura 2) distribuyéndose de la siguiente manera:

$2^k = 2^2 = 4$ Puntos factoriales

$2k = 2 \times 2 = 4$ Puntos axiales

$m = 2 \times 1 = 2$ Repeticiones del punto central

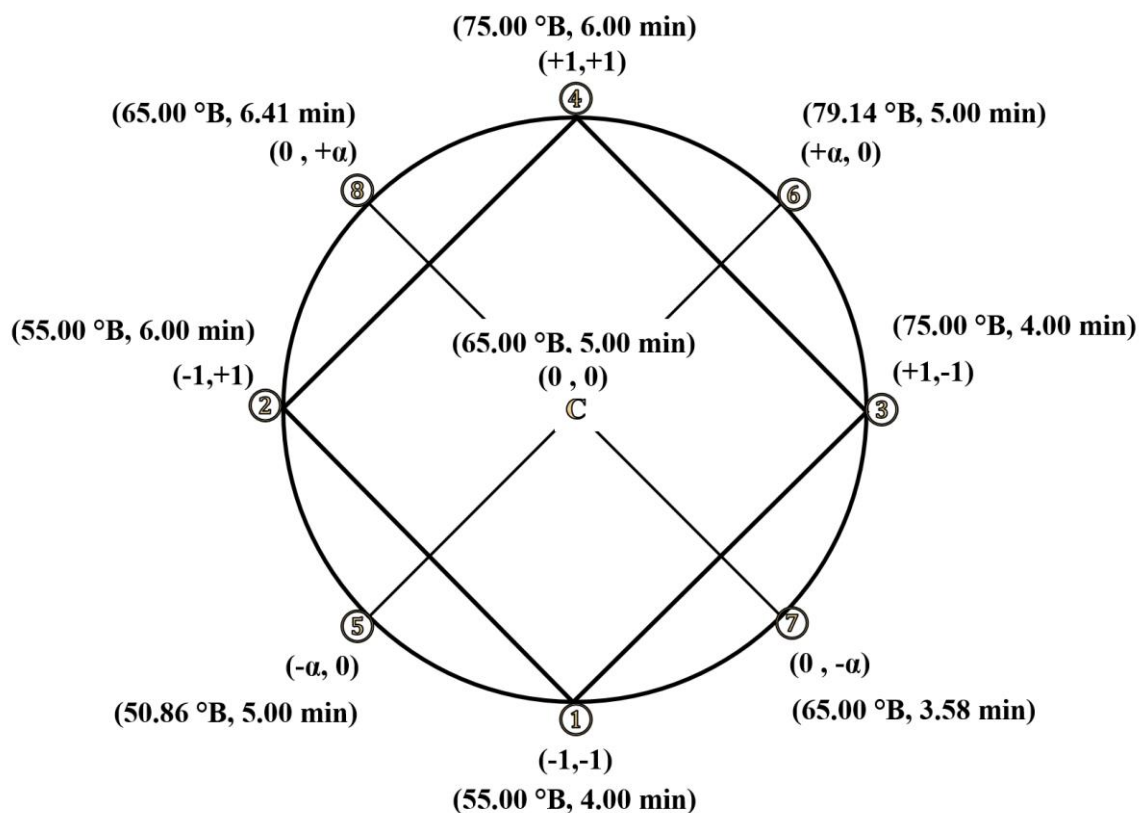


Figura 2. Gráfica explicativa de tratamientos codificados y decodificados.

α =Puntos cuadráticos, 1=Puntos axiales, #=Tratamientos, C=Puntos centrales (tratamientos 9, 10)

Se realizaron análisis de varianza ANOVA para identificar los efectos de estas variables sobre los parámetros químicos, físicos y de color analizados. Para los parámetros que mostraron efectos significativos se realizaron regresiones de las variables en sus factores

lineales, cuadráticos y su interacción. Usando los coeficientes significativos ($P < 0.05$) se generó una ecuación de optimización para la caracterización del parámetro, se calculó un valor “F. Calculado” usando todos los coeficientes y se definió el valor “F. Tabular” usando los grados de libertad. Por las condiciones estadísticas de un R^2 superior a 0.7, una falta de ajuste no significativa ($P > 0.05$) y $F. \text{ Calculado} > F. \text{ Tabular}$ referente ($P < 0.05$); se declararon las ecuaciones como predictivas o tendenciosas. Buscando características de mayor deseabilidad en los efectos identificados, se generó un tratamiento de optimización del que se esperarían mejores resultados en su caracterización por los parámetros evaluados. Para discutir los efectos generales del proceso de DO se calcularon promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de todos los parámetros, contrastándolos con literatura.

Para la segunda fase a su vez, se usó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro tratamientos, tres bloques y cinco parámetros químicos, diez físicos y seis atributos sensoriales. Se usó el programa estadístico SAS[®] (Statistical Analysis System) en su versión 9.4 para Windows 7[®], para realizar análisis de varianza ANDEVA con separación de medias Duncan. Los tratamientos evaluados fueron el tratamiento optimización generado en la primera fase, dos secados convectivos convencionales, uno con escaldado control 1 y el otro sin escaldado control 2 y banano fresco para comparar los cambios.

Rendimiento. Usando una balanza analítica OHAUS se pesó el banano con cáscara y pelado, se separó y peso el material inapropiado (empardado) y sus resultados fueron calculados usando Microsoft Excel para Windows 7[®]. Se pesaron 200 g para cada tratamiento y se tomaron sus pesos al final del proceso de cada tratamiento.

Actividad de agua (Aw). Las mediciones se realizaron usando un AQUALAB[®] 3 TE por el método AOAC 978.18 (FAO 1997), calibrando el equipo según el manual. Los tratamientos fueron medidos posterior a la deshidratación osmótica y después del secado convectivo por triplicado. Para esto se maceró cada muestra hasta convertirla en papilla y así esparcirla en la bandeja de medición, procurando alcanzar menos de la mitad del volumen de esta.

Sólidos solubles. Usando un molino FOSS CT 193 CyclotecTm se molieron las muestras y se preparó una papilla con agua des-ionizada en relación 1:1 (g muestra deshidrata y molida: ml agua des-ionizada). Las mediciones se realizaron por triplicado y usando un refractómetro digital de 0 - 85% Pocket Atago[®].

Potencial de hidrógenos (pH). Las mediciones se realizaron por triplicado y usando un potenciómetro manual OHAUS calibrado cada cuatro tratamientos. Se usaron papillas para recubrir el electrodo y se limpió este con agua destilada y papel toalla después de cada medición.

Humedad. Las mediciones se realizaron por duplicado, usando crisoles previamente secados por 24 horas y un horno de secado a 105 °C. Se pesó cada crisol seco, con 3 ± 0.45 g. de muestra deshidratada y después de secar las muestras por 24 horas. Se calculó la humedad final de cada tratamiento promediando la diferencia entre el peso inicial y final de sus muestras, expresado en porcentaje.

Textura. Se realizaron Análisis de Perfil de Textura (Castro y De Hombre 2007) por doble punción (TPA) usando un texturómetro Brookfield CT3 4500 con base de tabla giratoria TA-JPA, sonda de aguja de acero inoxidable TA9 y una velocidad de punción de 2 mm/s con 5 repeticiones por tratamiento. Las gráficas y sus respectivos datos fueron guardados digitalmente, promediados en Microsoft Excel para Windows 7® y analizados estadísticamente. Los parámetros seleccionados del TPA fueron ciclo de dureza (N), deformación según dureza (mm), cantidad de fracturas (u), fracturabilidad (mm) y masticabilidad (mJ).

Color. Se midió color usando la aplicación para Android ColorAssistant® en fotografías tomadas con una cámara fotográfica NIKKOR® Coolpix P520, con lente 42× wide optical zoom ED VR (4.3 – 180 mm) 1:3 – 5.8 en una cámara generada para el estudio. Se fotografiaron tres muestras por tratamiento en oscuridad total, con nivel de exposición lumínica de +2.00 y un ángulo perpendicular a la luz. Las mediciones se realizaron en sectores delimitados por su coloración (Figura 3), en valores de la escala RGB (rojo, verde y azul) y fueron transformados usando Microsoft Excel® 2016 a valores de la escala CIELab y h^* y C. Para la segunda fase se delimitaron sectores y se calcularon sus áreas usando el programa ImageJ® para Windows 7®, delimitando sectores por color y la posición entre el centro y el borde exterior de la rodaja (1 = central; 3 = exterior). A cada sector se le realizaron tres mediciones de color al azar (Figura 3), sus valores se convirtieron a la escala CIELab (variables L^* , a^* , b^*) y a h^* , c^* usando una tabla en Microsoft Excel®.

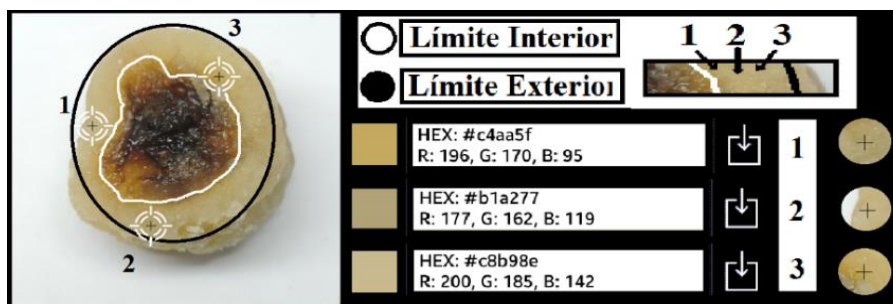


Figura 3. Distribución de mediciones de color por sectores

Análisis sensorial. Se realizaron pruebas hedónicas con escala de 9 puntos a 36 panelistas no entrenados por bloque. Se usaron tres bloques con materia prima de diferentes partes del total almacenado. Se evaluaron los atributos sensoriales de color, olor, textura, sabor, acidez y aceptación general, y análisis de preferencia por ordenamiento. Se realizaron análisis

estadísticos y una comparación de frecuencias para definir el tratamiento preferido y analizando los comentarios de las boletas se identificaron los atributos de mayor influencia en la decisión de los panelistas.

Determinación de costos. Con los tiempos de proceso, los rendimientos y sin costo por agua se determinaron los costos variables para 10 Kg de banano deshidratado y un operario. Se usó como referencia los costos de la Planta Hortofrutícola de Zamorano, una escaldadora Dixie M-6 Steam Blancher-Cooler[®], una marmita de 50 L y un deshidratador industrial Harvest Saber modelo HS-R-SS-1-E, serie HS130[®].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera fase no se presentó sinéresis o consistencia pegajosa después del secado convectivo, denotando que 6 h de reposo hasta la recolección no influenció su análisis comparativo. Solo se encontraron efectos significativos en la actividad de agua, sólidos solubles y fracturabilidad del banano deshidratado; generando una optimización en la combinación de los puntos centrales del estudio. Se identificó que el banano producido con esta combinación mostró resultados aceptables (Cuadro 2) y similares a los de estudios con procesos parecidos (Morales 1999). La pérdida de rigidez después del escaldado generó un aumento en el volumen de los frutos producido por la dilatación de poros, una ruptura en la matriz y absorción de humedad (Tavakolipour y Zirjani 2014). El manejo de frutos enteros durante el escaldado fue más difícil con tiempos de seis minutos o más (Vizueta 2008) pero generó que las rodajas mantuvieran su forma hasta el final de la deshidratación osmótica.

Actividad de agua (Aw). Los resultados del ANOVA indicaron que el tiempo de escaldado en su factor cuadrático pudo influenciar la actividad de agua del banano deshidratado. El principal efecto encontrado se mostró influenciado por tiempo de escaldado como factor cuadrático y generando menor Aw en combinaciones de niveles centrales de las variables independientes del estudio (Cuadro 3). Siendo mejor un valor menor de actividad de agua, se explicó la tendencia por una estructura más eficiente en retención de agua ligada y una superficie de mejor movilidad de agua libre. Con estos coeficientes se generó la ecuación 4 y por sus condiciones estadísticas se determinó esta como predictiva. El valor promedio de 0.6 (cuadro 2) encontrado, permite el crecimiento de hongos y levaduras, aunque no el de la mayoría de bacteria patógenas (Ceballos y Jiménez 2012).

Cuadro 2. Coeficientes de regresión para actividad de agua de banano deshidratado

Factor	Coeficiente de regresión	Probabilidad
Intercepto	6.63E-01	0.003*
X ₁	-1.68E-02	0.057
X ₁ ²	6.25E-02	0.020*
X ₂	-4.94E-03	0.188
X ₂ ²	2.46E-02	0.051
X ₁ *X ₂	-1.49E-02	0.090
Falta de ajuste	3,04E-03	0.098
R ²	0.874	
F. Calculado > F. Tabular	22.22 > 5.32	

X₁: Tiempo de escaldado, X₂: Concentración de solución osmótica, *: Significativo (P<0.05).

Cuadro 3. Resultados de banano deshidratado por tratamientos del punto central 6 (min) de escaldado y 65 (°Brix) en solución osmótica

Parámetros químicos, de textura y de color					
Valores	Rendimiento (%)	Actividad de agua	Sólidos solubles (°Brix)	Potencial de Hidrogeniones	Humedad (%)
Promedio	0.50	0.66	0.78	5.23	0.28
Desviación estándar	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01
Coeficiente de variación	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03
Valores	Ciclo de dureza (N)	Deformación según Dureza (mm)	Cantidad de Fracturas (u)	Fracturabilidad (N)	Masticabilidad (mJ)
Promedio	1.03	29.87	12.75	0.16	38.93
Desviación estándar	0.00	12.12	3.25	0.01	15.98
Coeficiente de variación	0.00	0.41	0.25	0.09	0.41
Valores	Luminosidad	a^{*(1)}	b^{*(2)}	H³	Croma⁴
Promedio	71.18	59.02	90.18	56.79	107.78
Desviación estándar	0.22	0.16	0.99	0.36	0.74
Coeficiente de variación	0.00	0.16	0.03	0.01	0.01

1: Cromaticidad verde-rojo, 2: Cromaticidad azul-amarillo 3: Tono (ángulo del centro a coordenada a-b) 4: (coordenada a-b)

Las combinaciones cercanas a tiempos de escaldado de seis minutos y concentraciones de solución osmótica de 65 °Brix mostraron una tendencia a menor actividad de agua (Figura 4). La temperatura del escaldado daña la estructura de las células y gelifica los almidones, ya que redujo el agua ligada químicamente (monocapa) y aumentó la humedad evaporable (agua libre) (Andrade y Castro 2009). La estructura de la sacarosa a su vez, permitió su entrada en la superficie, pero al acumularse obstruyó la salida del agua (Gaspareto *et al.* 2004). Un mayor tiempo de escaldado aumenta la humedad evaporable, pero permitió un mayor ingreso de sacarosa, y un menor tiempo redujo el agua evaporable y limitó el movimiento interno del agua por la cohesión de los almidones. La concentración de solución osmótica generó el gradiente que deshidrata por ósmosis el banano, pero obstruyó el movimiento del agua en su estructura destruida por escaldado. La combinación de las variables del estudio apuntó a niveles centrales porque al contrastar los efectos de cada una en sus niveles alto o bajo, el efecto positivo de una no contrarrestó de manera más pronunciada el de la otra.

$$\text{Actividad de agua} = 0.0663000 + 0.0625000X_1^2 \quad [4]$$

Se definió esta ecuación como predictiva por un 87.4% de datos que se ajustaron a un modelo cuadrático, un F. Calculado superior a un F. Tabular ($P > 0.05$) y un efecto no significativo en la falta de ajuste (Cuadro 3).

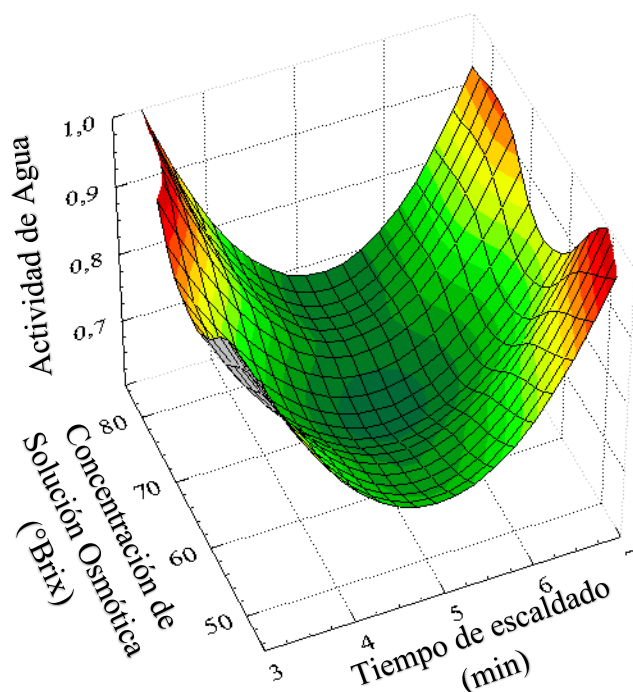


Figura 4. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en actividad de agua de banano deshidratado

Sólidos solubles. Los efectos significativos en los sólidos solubles del banano deshidratado fueron atribuidos a la concentración de solución osmótica como factor cuadrático (cuadro 4). Con sus coeficientes significativos se generó la ecuación 5 y por sus condiciones estadísticas se determinó esta como tendenciosa. Solo el 64.4% de datos se ajustaron a un modelo cuadrático, por lo que el uso de esta ecuación no está estadísticamente aceptado para explicar la tendencia de la población. Así también, la variación del estudio o F. Calculado es menor al F. Tabular ($P > 0.05$) siendo inaceptable, y no se encontró un efecto significativo en la falta de ajuste (Cuadro 4). Por esto se definió esta ecuación como tendenciosa, siendo una herramienta útil para la definición de tratamientos que optimicen un efecto positivo sobre los sólidos solubles.

Cuadro 4. Coeficientes de regresión para sólidos solubles en de banano deshidratado

Factor	Coeficiente de regresión	Probabilidad
Intercepto	7.77E-01	0.004*
X ₁	9.99E-03	0.146
X ₁ ²	7.04E-03	0.263
X ₂	2.17E-03	0.523
X ₂ ²	-5.51E-02	0.036*
X ₁ *X ₂	1.63E-02	0.127
Falta de ajuste	1.16E-02	0.078
R ²		0.64
F. Calculado > F. Tabular		4.97 < 5.32

X₁: Tiempo de escaldado, X₂: Concentración de solución osmótica, *: Significativo ($P < 0.05$).

Se explicó esta tendencia porque durante la deshidratación osmótica existió un intercambio de masas entre la solución y el banano, ingresando sólidos al banano mientras este le sede humedad a la solución. Conociéndose que un mayor gradiente genera un mayor intercambio, el efecto de la concentración de solución osmótica sobre este parámetro se le atribuyó al efecto en el almidón y la superficie del escaldado en todos los tratamientos. La concentración de sólidos solubles mostró ser influenciada de manera más deseable por concentraciones de solución osmótica cercanas a 75 °Brix y tiempos de escaldado cercanos a 7 o 3 minutos. Durante el escaldado aumentan los sólidos solubles por la hidrólisis del almidón (Andrade y Castro 2009), lo que aumentó la concentración de azúcares simples en el banano antes de ser deshidratado. Tomando en cuenta el efecto del tiempo de escaldado, una mayor ruptura de la estructura generó un mayor ingreso de sólidos (Omolola *et al.* 2015) y en su defecto una menor ruptura de la estructura optimizó la concentración de los azúcares internos del banano. En consecuencia, aunque el efecto apuntó a un mayor tiempo de escaldado, nutricionalmente hablando resulta ser mejor un menor tiempo de escaldado para aumentar la concentración de sólidos solubles.

$$\text{Sólidos solubles} = 0.777333 - 0.055125 X_2^2 \quad [5]$$

En la deshidratación osmótica con agitación y calentamiento constante pueden ingresar entre 6 y 10% de sólidos a la superficie del banano (Vizueta 2008), aumentando o disminuyendo este efecto por influencia de interacción de temperatura y concentración de solución osmótica (Millán y Ostojich 2005). Se asumió que la temperatura no influenció en mayor medida los resultados y el efecto de la deshidratación osmótica podría haber sido más notorio si no se hubiera realizado una limpieza superficial con papel filtro.

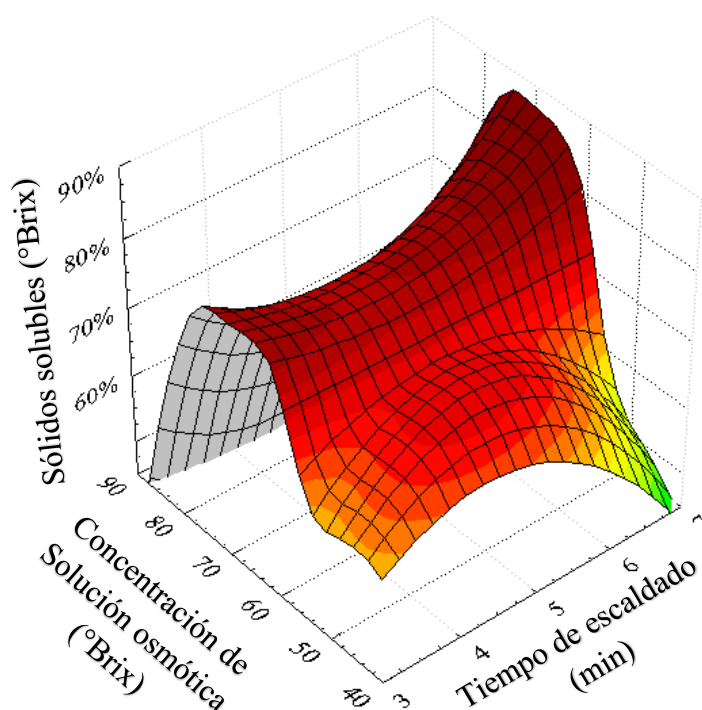


Figura 5. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en sólidos solubles de banano deshidratado

Fracturabilidad. Los efectos significativos sobre la fracturabilidad se mostraron atribuibles a la interacción entre el tiempo de escaldado y la concentración de solución osmótica, el escaldado como factor cuadrático y la concentración como factor lineal (cuadro 5). Con estos resultados se generó la ecuación 6 y por sus condiciones estadísticas se determinó esta como tendenciosa. Valorando una alta fracturabilidad y la sinergia entre los efectos de las variables evaluadas, su resultado (cuadro 2) se explicó por los efectos que las variables de los procesos de la DO generaron en conjunto sobre la matriz. Mostrándose no significativos los efectos del resto de parámetros de textura, se podría inferir que existe un efecto en la fracturabilidad por el comportamiento de la estructura ante la ruptura de la superficie. Los tratamientos mostraron ser más fracturables con concentraciones de solución osmótica cercanas a 85 °Brix y tiempos de escaldado cercanos a 7 min. Esta tendencia se explicó por superficies más endurecidas en altas concentración de solución osmótica (Fernández 2007) y la difusión de su ruptura por la estructura porosa de su interior (Contreras 2006).

Cuadro 5. Coeficientes de regresión para fracturabilidad de banano deshidratado

Factor	Coeficiente de regresión	Probabilidad
Intercepto	1.65E-01	0.055
X ₁	6.47E-02	0.069
X ₁ ²	1.55E-01	0.038*
X ₂	1.36E-01	0.033*
X ₂ ²	6.83E-02	0.087
X ₁ *X ₂	3.00E-01	0.021*
Falta de ajuste	5.47E-01	0.034*
R ²	0.54	
F. Calculado > F. Tabular	17.20 < 6.26	

X₁: Tiempo de escaldado, X₂: Concentración de solución osmótica, *: Significativo (P<0.05).

Las superficies de mayor dureza requirieron una mayor fuerza para su ruptura, aumentando la fracturabilidad al acompañarse de estructuras porosas generadas por la ruptura de tejidos en el escaldado, y la absorción de aire en la deshidratación osmótica. Asumiendo una igualdad en la fuerza de corte de las superficies, el comportamiento de la matriz tras la ruptura cambió por la interacción que tienen la estructura, su porosidad y la humedad interna de cada tratamiento. Un estudio realizado por Moreno y colaboradores (2014), en tomate deshidratado, reveló que los consumidores buscan una fracturabilidad alta en productos deshidratados, puesto que esta característica genera el atributo crocancia.

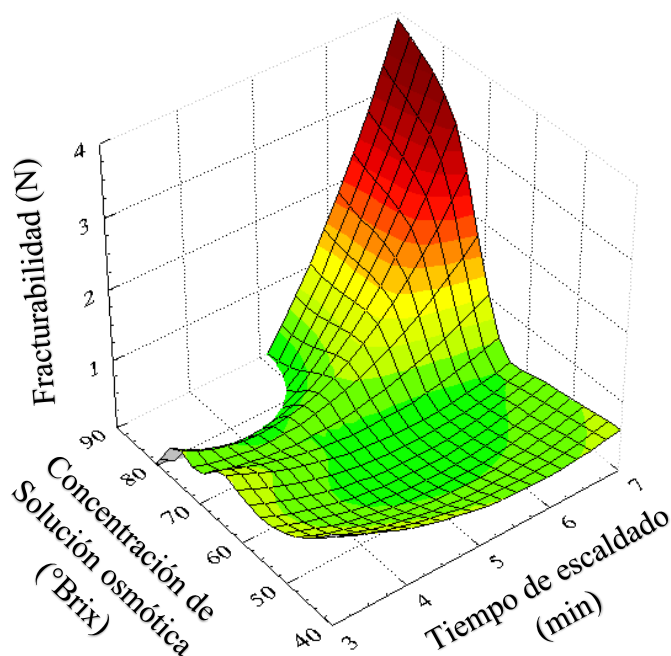


Figura 6. Gráfica del efecto del tiempo de escaldado (min) y la concentración de solución osmótica (°Brix) en fracturabilidad de banano deshidratado

$$\text{Fracturabilidad} = 0.155479 X_1^2 + 0.136346 X_2 + 0.300125 X_1 X_2 \quad [6]$$

Se definió la ecuación 6 como tendenciosa y la presencia de efectos significativos encontrados por el diseño central compuesto se podría asumir un efecto similar al esperado al usar los niveles que defina para las variables planteadas en el estudio. Esto se definió porque solo un 54.3% de datos se ajustaron a un modelo lineal y los datos que no se ajustaron mostraron tener significancia en el resultado esperable de la ecuación, por lo que el efecto encontrado no puede asumirse estadísticamente como explicativo para la población. No obstante, la variación del estudio o F. Calculado fue mayor a su referente confirmatorio o F. Tabular ($P > 0.05$).

Tratamiento óptimo (optimización). Usando la herramienta de deseabilidad del programa STATISTICA 7[®], con 60 repeticiones se definieron 6 min de escaldado y 65 °Brix en solución osmótica como la mejor combinación para el proceso de DO (Figura 9). Este tratamiento debería producir una menor actividad de agua, un porcentaje mayor de sólidos solubles y mayor fracturabilidad Para un efecto más enfocado a cada parámetro se pueden usar las ecuaciones generadas para cada uno.

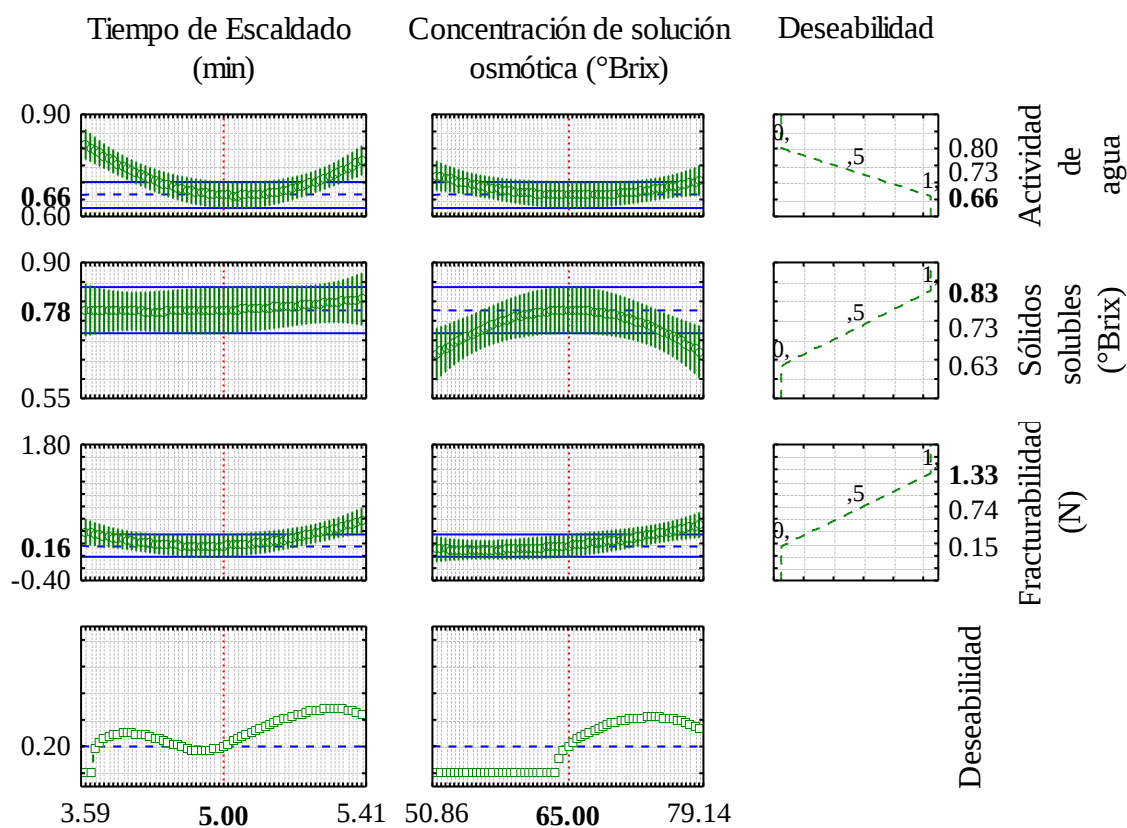


Figura 7. Gráfica de deseabilidad para banana tratado con deshidratación osmo-convectiva con escaldado

En la segunda fase se comparó los tratamientos contrastando los valores resultados de los bananos deshidratados con los del banano fresco. Sus resultados estadísticos con su separación de medias muestran una igualdad en actividad de agua entre tratamientos, un aumento de sólidos solubles y pH por el escaldado, y una humedad mayor en el tratamiento sin escaldado ni deshidratación osmótica (cuadro 6). Los parámetros utilizados en la segunda fase homogenizaron la humedad, actividad de agua y luminosidad de todos los tratamientos, aseverando que su comparación fue adecuada. El tamaño del secador fue un factor importante para el tamaño de muestra y por tanto su aplicabilidad a nivel industrial.

Actividad de agua. El banano seco sin pretratamiento tiene mayor estabilidad que los tratados por una menor modificación de su estructura por una monocapa mayor (Andrade y Castro 2009). Todos los tratamientos mostraron que indiferente del proceso utilizado, redujeron igual la actividad de agua del banano (Cuadro 6). Tomando en cuenta la reducción en la monocapa que genera el escaldado, se puede aseverar que esta igualdad en actividad de agua se generó por una distribución de humedad interna observada en la humedad final del producto (cuadro 6). Así, esto puede ser explicado por una mayor presión de vapor en el agua ligada (de mayor presencia en la optimización y el control 1, por el escaldado). Una menor presión de vapor en el agua ligada químicamente (de mayor presencia en el control 2 y una igualdad producida de esta manera, aun con la misma humedad. Por esta razón, los cambios en la estructura generados por el proceso de DO modifican la distribución de la humedad y la estructura interna del producto, aumentando con el paso del tiempo el riesgo microbiológico en comparación con los controles.

Cuadro 6. Niveles de respuesta en parámetros químicos de la segunda fase

Tratamientos	Aw ⁴	SS ⁵ (%)	pH ⁶	H ⁷ (%)
Optimización E ¹ DO ² SC ³ (11 h)	0.64 ± 0.01 ^{B 8}	70.75 ± 1.08 ^B	5.17 ± 0.04 ^B	0.25 ± 0.01 ^C
Control 1 E SC (14 h)	0.65 ± 0.01 ^B	84.3 ± 7.36 ^A	4.98 ± 0.32 ^C	0.25 ± 0.07 ^C
Control 2 SC (14 h)	0.65 ± 0.02 ^B	73.08 ± 1.00 ^B	5.33 ± 0.07 ^A	0.29 ± 0.04 ^B
Banano fresco	0.96 ± 0.01 ^A	21.25 ± 6.69 ^C	5.16 ± 0.25 ^B	0.77 ± 0.01 ^A
R ²	0.995	0.968	0.714	0.978
Coefficiente de Variación	1.75	8.66	4.18	10.36
Probabilidad	< 0.001	< 0.001	0.003	< 0.001

1: Escaldado (95°C por 6 min), 2: Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), 3: Secado convectivo (2±0.2 m/s y 70 °C), 4: Actividad de agua, 5: °Brix en producto deshidratado, 6: Potencial de hidrógeno, 7: Humedad (%), 8: Diferencias significativas (P<0.05).

Sólidos solubles. Al igual que en el estudio (Cuadro 6), variedades de banano similares a la Cavendish reportaron una concentración de $22 \pm 0.53\%$ (Rodríguez *et al.* 2013). Por ser procesos de deshidratación, el aumento en el nivel de sólidos solubles se generó por la pérdida de humedad, aumentando la proporción de estos al reducirse la masa. En el caso de los controles 1 y 2, esta reducción de humedad generó un encogimiento, disminuyó sus rendimientos y aumentó la compactación de sus matrices. La temperatura del escaldado, generó la hidrólisis del almidón y aumentó la concentración de azúcares, visible en el control 1 enmascarado por la salida de éstos durante la deshidratación osmótica de la optimización. Así también, la DO produjo una capa superficial compactada que influyó el nivel de sólidos solubles en la optimización. Por esto, el proceso de DO generó un cambio en las moléculas del banano y su composición nutricional, presentando un nivel de sólidos solubles igual al secado convectivo sin pretratamientos, pero diferentes estructural y nutricionalmente.

Potencial de hidrógeno. El tratamiento control 2 mostró un aumento en el pH, probablemente generado por el efecto de la polifenol-oxidasa sobre la matriz. En contraste, el control 1 mostró una reducción en el pH, revelando que el escaldado acidificó el banano al generarse azúcares por la hidrólisis del almidón. Tomando en cuenta que la optimización se mostró igual al banano fresco, el proceso pareció reducir la influencia de los azúcares generados por el escaldado, probablemente por su pérdida durante la deshidratación osmótica. El banano en general, ha mostrado tener muy poca variación del pH por deshidratación osmótica, resultando 5.12 en la variedad Cavendish (Vizueta 2008) y de 5.1 ± 0.01 en la variedad enano gigante (Rodríguez *et al.* 2008); concordando con el efecto encontrado por la optimización. El Reglamento Técnico Centroamericano no limita el pH para frutas desecadas o deshidratadas (RTCA 2009), pero el riesgo microbiológico se puede controlar con otras barreras químicas como preservantes.

Humedad. La humedad se vio modificada por el tipo de deshidratación utilizado, mostrando un mejor resultado a los tratamientos con escaldado (Cuadro 6), siendo iguales estadísticamente y de menor humedad. Como lo identificaron Tavakolipour y Zirjani (2014) en su estudio de secado convectivo, se debe a que el escaldado generó una mayor pérdida de humedad por destrucción de la matriz. En el caso de la optimización, la deshidratación osmótica también participó en la pérdida de humedad (Vizueta 2008), pero en este parámetro no se observó mayor influencia probablemente por el mínimo cambio producible por los tratamientos al llegar a la última etapa del secado convectivo. Ya que la actividad de agua de todos los tratamientos de deshidratación se mostró igual, se asumió que la diferencia de humedad identificada mostró también una distribución diferente en cada producto. Siendo menor el agua químicamente ligada en la optimización y el control 1, se asumió que el control 2 presentó una humedad mayor, pero de mayor proporción como monocapa. En contraste, la optimización y el control 1 redujeron más la humedad, pero la que quedó se distribuyó como agua ligada.

El banano deshidratado por secado convectivo (banano pasa), ha mostrado una humedad final entre 15 y 25%, con mejores texturas entre 20 y 25% y menor riesgo microbiológico a 18% por implicar una menor actividad de agua en el producto final (Morales 1999).

Asumiendo la diferencia de distribución de humedad interna generada por la deshidratación osmótica, el proceso osmo-convectivo con escaldado podría presentar ventajas sensoriales frente al control 1 por una estructura más homogénea internamente. Esto generó una ventaja en la pérdida de humedad por el uso de escaldado en secado convectivo y con mejores resultados en la textura al combinarla con deshidratación osmótica.

Análisis de textura. Comparando los tratamientos con el banano fresco se definieron las diferencias a partir de lo discutido en la primera fase, dándole mayor relevancia a las características generadas por la deshidratación osmótica y el escaldado. Se identificó un aumento en la dureza, fracturabilidad y masticabilidad del banano con escaldado y secado convectivo, y una mayor deformación según dureza y cantidad de fracturas en el banano de la optimización (Cuadro 7). Esto reveló que la optimización mejoró la textura del banano deshidratado y denotó que el escaldado como pretratamiento al secado convectivo genera un producto más compactado y duro (figura 8). Un estudio realizado por Vizueta (2008) sobre movilidad de agua en deshidratación osmótica, encontró que la mayor pérdida de humedad se da a los 65 minutos, tiempo en el que Andrade y Castro (2009) identificaron que los poros de la fruta se cierran y se forma una capa superficial. Consecuentemente la porosidad es atribuible a la ruptura de la matriz por el escaldado, la absorción de aire en la deshidratación osmótica (Agudelo 2012) y una evaporación más rápida en el secado convectivo (Contreras 2006). Asumiendo que los parámetros definidos para el proceso de deshidratación osmótica y secado convectivo del estudio y los procesos de Morales (1999), Contreras (2006) y Andrade y Castro (2009) no generarían mayores diferencias, se compararon los resultados por sus efectos homologables.

El tratamiento de optimización mostró tener una dureza igual al banano fresco, asimilable como mejor en productos deshidratados según lo mencionado por Moreno y colaboradores (2014), por su semejanza al producto fresco. Tomando en cuenta que el tejido vegetal del fruto tendría que mostrar un efecto similar al de otras bayas, la deshidratación le generó una reducción del espacio extracelular, interpretable como un encogimiento de la estructura. Habiendo sido menos pronunciado en los tratamientos con escaldado previo por un flujo de salida de agua más dinámico, la ruptura de la estructura celular permitió el aumento de poros. Es por esta razón que la deshidratación osmótica, al reducir la humedad sin sacrificar la estructura generó una menor dureza y mayor deformación que los tratamientos convencionales con o sin escaldado. Aunque el escaldado produce mejor superficie en otros frutos, en este estudio mostró un efecto inverso en el control 1 al ser más duro y de mayor deformación según dureza. Efecto generado posiblemente por una deshidratación más pronunciada en la superficie, causada por la ruptura celular por calor, y un encogimiento que presentó una mayor dureza interna y externa al no usar deshidratación osmótica. Siendo la dureza y cohesividad las características mecánicas primarias de la textura, un producto similar al fresco en cuanto a dureza se asume como mejor (García 2011).

El tratamiento de optimización se mostró más parecido al banano fresco en cuanto a la cantidad de fracturas, atribuible a la estructura porosa que genera la deshidratación osmótica (Contreras 2006). Una menor cantidad de fracturas en los controles se explica por la formación de poros internos rellenos de aire, que en secado convectivo generan una compactación y por ende un encogimiento (García 2011).

Cuadro 7. Niveles de respuesta en parámetros físicos de textura de la segunda fase.

Tratamientos	Ciclo de dureza (N)	Deformación según dureza (mm)	Cantidad de Fracturas (u)	Fracturabilidad (N)	Masticabilidad (mJ)
Optimización E ¹ DO ² SC ³ (11 h)	0.78 ± 0.45 ^{C (4)}	11.45 ± 0.52 ^A	10.33 ± 5.73 ^B	0.34 ± 0.35 ^B	14.79 ± 18.91 ^{BC}
Control 1 E SC (14 h)	4.83 ± 1.07 ^A	10.44 ± 1.89 ^{AB}	0.56 ± 1.67 ^C	4.50 ± 1.82 ^A	61.83 ± 25.87 ^A
Control 2 SC (14 h)	2.30 ± 0.74 ^B	8.19 ± 3.32 ^C	1.22 ± 0.79 ^C	0.67 ± 0.75 ^B	28.19 ± 19.91 ^B
Banano fresco	0.19 ± 0.04 ^C	9.20 ± 5.22 ^{BC}	44.22 ± 4.52 ^A	0.22 ± 0.21 ^B	0.91 ± 0.29 ^C
R ²	0.909	0.679	0.964	0.845	0.809
Coeficiente de variación	34.87	12.95	30.10	67.97	58.94
Probabilidad	< 0.001	0.029	< 0.001	< 0.001	< 0.001

1: Escaldado (95°C por 6 min), 2: Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), 3: Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C), 4: Diferentes letras muestran diferencias significativas (P<0.05).

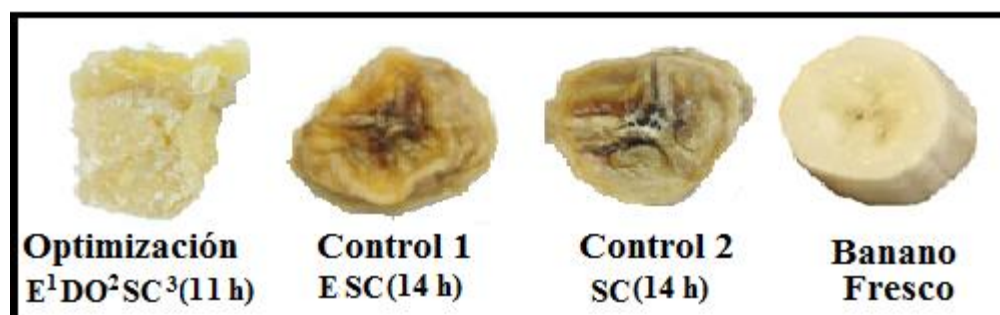


Figura 8. Comparación de texturas por fotografías de los tratamientos de la segunda fase.

1: Escaldado (95°C por 6 min), 2: Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), 3.: Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C)

Una porosidad diferente entre tratamientos, generó una deformación y fracturabilidad diferentes en la penetración (Fernández 2007). Siendo iguales los controles 1 y 2 se asume que el escaldado no generó un efecto sobre este parámetro. La diferencia entre el control 1 y la optimización es la deshidratación osmótica, factor que mostró corregir la ruptura del escaldado por el volumen generado. Tomando en cuenta que el escaldado generó mayor dureza, esto puede explicar que el tratamiento control 1 presente mayor fracturabilidad y masticabilidad. Entendiendo la masticabilidad como la fuerza necesaria para romper un alimento hasta ser adecuado para su ingesta (Torres *et al.* 2014), el aumento de este parámetro revela una mayor dificultad para el consumo de banano deshidratado. Siendo la optimización igual al banano fresco, se identifica que la DO mejora la textura del banano deshidratado y facilita su ingesta.

Análisis de color. Los tratamientos mostraron diferencias en la distribución de sus sectores (Cuadro 8) y colores estadísticamente iguales entre tratamientos con escaldado. Todos los procesos mostraron reducir la luminosidad del banano en la misma magnitud, pero la optimización mostró preservar de mejor manera el color y el secado convectivo sin escaldado mayor pardeamiento en el banano deshidratado. Obviando el efecto del grupo polifenol-oxidasa PFO por el escaldado (Tavakolipour y Zirjani 2014) los cambios en el color del banano son atribuibles al pardeamiento no enzimático promovido por compuestos reactivos, cambios en la estructura que faciliten su contacto y la temperatura. Así también, la actividad de agua es un factor influyente en la velocidad de pardeamiento pues existe un efecto estimulante por la difusión y dilución de compuestos relevantes para el proceso. Ya que el escaldado inhibe el pardeamiento enzimático, la igualdad en la actividad de agua mostraría las diferencias generadas por el escaldado. Con actividades de agua entre 0.5 y 0.7 se genera el máximo de pardeamiento enzimático y encima de 0.6 – 0.7 el pardeamiento decrece por la dilución de sustratos.

La optimización y los controles mostraron tener una luminosidad menor al producto fresco y de la misma magnitud indiferentemente del proceso de deshidratación. No obstante, el control 2 se mostró más amarillo y rojizo, denotando mayor pardeamiento enzimático, ya que los tratamientos con escaldado no pudieron mostrar este efecto. Siendo todos los tratamientos de deshidratación más amarillos que el banano fresco, se le atribuyó este efecto a la temperatura del escaldado optimización y control 1 y a la temperatura del secado convectivo en todos; habiendo sido potenciado por la polifenol-oxidasa en el control 2. El banano fresco tiene aproximadamente 19.5% de azúcares (Vizueta 2008) y alto contenido de compuestos fenólicos (Valero 2001). La igualdad en las coloraciones amarillas y rojizas entre la optimización y el control 1 revela, que colorimétricamente no existen diferencias por acción del escaldado. Esto seguramente causado porque la temperatura usada para el secado convectivo, no podría generar caramelización ni se podría generar reacciones de Maillard aunque el escaldado hidrolice el almidón y aumente los azúcares reductores. Por esto se asume que la temperatura usada en el secado convectivo redujo la diferenciación de tratamientos con escaldado. El aumento en el color amarillo de la optimización y el control 1 reveló un empardamiento (Bejarano y Morales 2005) generado por el efecto de la temperatura de escaldado sobre los azúcares del banano.

Cuadro 8. Análisis estadístico para parámetros de color de la segunda fase

Tratamientos	Luminosidad	a*(4)	b*(5)	H ⁶	Croma ⁷
Optimización E ¹ DO ² SC ³ (11 h)	71.20 ± 8.43 ^{B (8)}	58.11 ± 2.03 ^B	92.53 ± 9.84 ^B	94.22 ± 4.75 ^A	32.68 ± 9.74 ^B
Control 1 E (14 h)	67.74 ± 12.87 ^B	60.15 ± 7.33 ^B	90.61 ± 8.61 ^B	90.72 ± 14.29 ^A	31.43 ± 8.42 ^B
Control 2 SC (14 h)	65.59 ± 6.15 ^B	66.49 ± 3.69 ^A	104.77 ± 8.65 ^A	82.12 ± 4.51 ^B	45.35 ± 8.81 ^A
Banano fresco	90.89 ± 6.11 ^A	57.93 ± 1.15 ^B	79.19 ± 2.20 ^C	96.32 ± 3.35 ^A	19.33 ± 2.18 ^C
R ²	0.773	0.927	0.804	0.571	0.808
Coefficiente de variación	10.57	2.75	9.29	8.29	20.03
Probabilidad	< 0.001	0.002	< 0.001	0.014	< 0.001

1: Escaldado (95°C por 6 min), 2: Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), 3: Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C), 4: Cromaticidad verde-rojo, 5: Cromaticidad azul-amarillo 6: Tono (ángulo del centro a coordenada a-b) 7: Croma (coordenada a-b), 8: Diferentes letras muestran diferencias significativas (P<0.05).

Por tanto, un secado convectivo con temperaturas más altas podría haber mostrado de mejor manera el efecto de inhibir la polifenol-oxidaza por escaldado ya que generaría colores menos amarillos o en su defecto también lo haría con el paso del tiempo en el proceso sin escaldado (Morales 1999). El valor de h^* o tono corresponde al ángulo de matiz desde el eje central hacia el punto de color resultante, variando entre 0 y 360°. La cromaticidad c^* o índice de saturación es una proporción de color cromático puro, entendido como la intensidad en la que se presenta un tono bajo el efecto lumínico (Contreras 2006). Siendo parámetros dependientes de las coordenadas en cromaticidades a^* , b^* y luminosidad, los valores de tono y croma mostraron la diferencia en tonalidades de ubicación en el plano cartesiano del sistema CIELAB a una intensidad lumínica similar (Capilla *et al.* 2002). Así el control 2 mostró una croma diferente, seguramente influenciada por un tejido menos transformado y una superficie encogida y brillante. Esto probablemente ocurrió porque al no recibir escaldado su almidón se mantuvo más estable y al no recibir deshidratación osmótica no aumentó su volumen y su superficie se compactó más cristalina y menos porosa.

Los tonos de la optimización y el tratamiento control 1 mostraron ser superiores y estadísticamente diferentes al tratamiento control 2, diferencia atribuible a un mayor pardeamiento por reacciones de Maillard durante el secado convectivo del control 1 y una luminosidad igual que por la espacialidad del valor de tono facilitó la identificación de los efectos de los procesos. En el estudio realizado por Contreras (2006) sobre manzana deshidratada por secado convectivo, las muestras deshidratadas siempre fueron más opacas que el producto fresco. Se identificó que los tratamientos con pretratamiento osmótico, aunque no mostraron diferencias estadísticas con el tratamiento control 1 generaron mayor parecido en luminosidad y cromaticidad a^* con el producto fresco.

Tratamientos	Imagen original	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Optimización (6 min escaldado, 65 °Brix en Solución osmótica y 11 h de Secado Convectivo)		No presenta sector 1		
Control 1 (6 min escaldado y 14 h de Secado Convectivo)				
Control 2 (14 h de Secado Convectivo)				

Figura 9. Contraste entre fotografías de los tratamientos, originales y los sectores definidos y resaltados con color blanco.

La distribución de colores en la superficie de los tratamientos (cuadro 9) reveló que es más uniforme un color claro y blanquecino en la optimización. Teniendo más del 98% de su superficie con estas características colorimétricas, se puede aseverar que la DO es más

eficiente que el secado convectivo convencional respecto a la preservación del color en el tejido mesocárpico (Bejarano y Morales 2005). Como lo identifica (Caivano y col. 2004), citado por Agudelo (2012), las pequeñas variaciones de micro-texturales de la superficie pueden generar una variación en luminosidad, aunque no sean realmente perceptibles en el volumen. Tomando en cuenta que los tratamientos evaluados en la primera fase mostraron ser un poco más claros y consistentes, en esta segunda fase la calidad del banano utilizado pudo influenciar los resultados.

Cuadro 9. Distribución de color por sectores en tratamientos de la segunda fase.

Tratamiento	Sectores	D⁴	L⁵	a*⁶	b*⁷	H⁸	C⁹
Optimización (E ¹ DO ² SC ³ (11 h))	(exterior)	52.03%	75.40	-2.76	22.99	97.14	23.21
	(medio)	47.33%	73.20	-3.35	38.72	95.29	38.91
	(central)	0.64%	62.86	0.05	38.77	89.85	38.78
Control 1 E (14 h)	(exterior)	65.20%	74.44	-4.60	28.80	99.19	29.67
	(medio)	28.87%	67.25	0.28	31.68	90.71	31.79
	(central)	5.93%	52.44	7.11	31.20	76.63	32.35
Control 2 SC (14 h)	(exterior)	42.22%	68.04	2.20	35.33	86.51	35.45
	(medio)	50.85%	62.96	7.46	47.74	80.84	48.43
	(central)	6.93%	62.75	7.12	50.01	82.11	50.61
Banano fresco	NA	100.00%	90.89	57.92	79.18	53.81	98.12

1: Escaldado (95°C por 6 min), **2:** Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), **3:** Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C), **4:** Distribución porcentual de la superficie fotografiada, **5:** Luminosidad, **6:** Cromaticidad verde-rojo, **7:** Cromaticidad azul-amarillo. **8:** Tono (ángulo del centro a coordenada a-b) **9:** Croma o intensidad (coordenada a-b), **10:** No aplica (general).

Un producto sobre madurado tiende a tener más azúcares (Vizueta 2008), lo que genera oscuridad y textura pegajosa (Morales 1999). Por consecuencia de un producto más maduro, las tonalidades de los tratamientos control se mostraron más oscuras y con texturas más resacas. Tomando en cuenta los valores de Morales (1999) en su estudio de secado convectivo a 80 °C y 2.5 m/s fue de 31.67 (el más oscuro de los tratamientos) y a 60 °C y 2.5 m/s 41.15 (el más claro de los tratamientos), fue notoria la diferencia en cuanto al efecto de la temperatura. Asumiendo que el porcentaje de la superficie implicó la principal diferencia entre los tratamientos, se pudo denotar que el proceso de DO utilizado para este estudio mejoró el color por generar una superficie más homogénea. Los colores rojizos y pardos que se produjeron durante el secado convectivo fueron admirables en el sector medio de los tratamientos, denotando una mayor presencia cuando no existió un escaldado previo, como lo muestra el tratamiento control 2. Al inhibirse el efecto de polifenol-oxidaza en el escaldado, la deshidratación osmótica también mostró influenciar de manera beneficiosa a la estructura. Evidenciando una distribución más representativa de colores amarillos y luminosidades altas en la optimización, la DO presentó generar un producto más homogéneo y uniforme. Esto pudo deberse a la ruptura y gelificación de los almidones durante el escaldado, la reducción de humedad antes del secado convectivo y la generación de microestructura durante la deshidratación osmótica.

Análisis sensorial. Para productos deshidratados es fundamental que satisfagan los requisitos y necesidades del consumidor, mostrando como atributos de la calidad el aspecto (color, tamaño y forma), la ausencia de defectos y el valor nutricional (Contreras 2006). Los resultados de la segunda fase mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre tratamientos (cuadro 10), denotando una mayor aceptación en la optimización sobre los atributos color, textura, sabor, dulzura y aceptación general. El banano fresco siempre se mostró más aceptado que el deshidratado y se identificó mucha variabilidad en los resultados por lo subjetivo de la apreciación sobre deseabilidad de banano deshidratado.

La optimización mostró tener una aceptación menor que el banano fresco, pero mayor que los controles en los parámetros de color y textura. El nivel de aceptación en estos atributos lo situó en me “gusta moderadamente” (7) con una variación que podría situarlo en un nivel de menor aceptación de “me gusta poco” o una aceptación mayor. El atributo de olor por su parte, mostró tener la misma aceptación en la optimización y el control 1, y mayor la del control 2. Esto demostró que los volátiles producidos por la hidrólisis del almidón en el escaldado y la inhibición de polifenol-oxidasa aumento la aceptación del olor probablemente por aumentar el olor dulce e inhibir malos olores por la descomposición de fenoles.

En contraste el control 2 mostró tener un color y olor de menor aceptación que los demás tratamientos, infiriéndose que el escaldado mejoró la aceptación de la apariencia en el banano deshidratado. Recalcando lo que expresó Morales (1999) en su estudio sobre secado convectivo, el banano pasa corre el riesgo de ser muy duro cuando su humedad es menor al 20%, por el encogimiento que genera esta técnica. Siendo reducido este factor de encogimiento por la deshidratación osmótica, esto podría explicar la superioridad generada por la DO en cuanto al atributo textura.

En cuanto al sabor, dulzura y aceptación general, la optimización mostró una superioridad respecto a los dos controles y una inferioridad frente al producto fresco. Se ha identificado que los consumidores prefieren tratamientos con deshidratación osmótica más que de secado convectivo con escaldado o sin tratamiento (Andrade y Castro 2009). Esta aseveración podría ser explicada por la adición de azúcares en la deshidratación osmótica que mejoró la percepción del sabor y la dulzura, lo que explicaría la diferencia estadística de sus percepciones frente a los controles. No obstante, la variabilidad de las respuestas de los panelistas mostró que al ser muy subjetiva la percepción de lo deseable o aceptable para los consumidores en cuanto a lo que buscan en banano deshidratado. Hecho que en este caso fue obviado, pues las características que se buscaron con el estudio pretendieron asimilarlo al banano fresco y/o diferenciarlo del convencional deshidratado por un sabor más dulce y textura más esponjosa.

En constancia con los resultados de los atributos sensoriales evaluados, el tratamiento control 2 muestra ser el de menor aceptado general. El escaldado mejora la percepción del atributo dulzura y la aceptación general, seguramente porque la polifenol-oxidasa genera colores más oscuros, consistencias pegajosas y sabores y olores desagradables (Morales 1999). Asumiendo que las diferencias encontradas con el análisis sensorial muestran una superioridad atribuible a las características generadas por la DO y el escaldado, el estudio fue efectivo en cuanto a mejorar las características sensoriales del banano deshidratado.

Cuadro 10. Medias y desviación estándar de atributos sensoriales de la segunda fase

Tratamientos	Color	Olor	Textura	Sabor	Dulzura	Aceptación general
Optimización E ¹ DO ² SC ³ (11 h)	7.10 ± 1.41 ^{B(4)}	6.37 ± 1.41 ^B	6.96 ± 1.54 ^B	6.97 ± 1.78 ^B	6.93 ± 1.58 _B	7.18 ± 1.30 ^B
Control 1 E (14 h)	6.23 ± 1.64 ^C	6.19 ± 1.18 ^B	5.69 ± 1.64 ^C	6.00 ± 1.49 ^C	6.12 ± 1.67 _C	6.32 ± 1.52 ^C
Control 2 SC (14 h)	4.71 ± 1.95 ^D	5.71 ± 1.59 ^C	5.34 ± 1.63 ^C	5.58 ± 1.86 ^C	5.63 ± 1.84 _D	5.60 ± 1.55 ^D
Banano fresco	7.70 ± 0.74 ^A	8.28 ± 0.65 ^A	7.89 ± 0.68 ^A	8.10 ± 0.83 ^A	7.73 ± 0.57 _A	8.00 ± 0.67 ^A
R ²	0.500	0.528	0.500	0.436	0.401	0.462
Coefficiente de variación	23.91	19.12	22.25	23.83	23.08	19.98
Probabilidad	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

1: Escaldado (95°C por 6 min), 2: Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), 3: Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C), 4: Diferentes letras muestran diferencias significativas (P<0.05).

Los comentarios en las boletas de análisis sensorial indicaron que los atributos más influyentes para los panelistas fueron la textura y el sabor (cuadro 11), alcanzando alrededor del 56% de los comentarios recibidos. Siendo la textura una de las principales características generadas por el proceso, la combinación de técnicas de secado con escaldado muestra ser influyente en la percepción de la calidad sensorial. La dulzura y el color mostraron ser influyentes en menor medida, indicando que las características generadas fueron satisfactorias en cuanto al cambio esperado. Tomando en cuenta que los parámetros identificados como más influyentes mostraron ser mejores en la optimización se puede afirmar que las características sensoriales del banano deshidratado fueron mejoradas por la DO.

Cuadro 11. Parámetros más influyentes en la aceptación de banano deshidratado.

Parámetro	Repetición	Porcentaje
Olor	1	2%
Sabor y Textura	5	10%
Dulzura	8	16%
Color	8	16%
Sabor	13	25%
Textura	16	31%
Total	51	100%

Se identificó una preferencia por la optimización en el 63.33% de los panelistas, siendo este porcentaje estadísticamente aceptable se pudo aseverar una mayor preferencia frente a los controles. Tomando en cuenta que en las frecuencias de los controles no existe una diferencia relevante, se identificó que los tratamientos controles se mostraron igualmente preferidos en niveles intermedio y bajo. Por esto el escaldado como pretratamiento en deshidratación fue un factor potencialmente útil para mejorar el color, pero que requiere precaución en cuanto a la generación de textura y desarrollo de pardeamiento no enzimático. Cabe además recalcar, que la optimización se mostró como “me gusta moderadamente” reafirmando que la DO con escaldado presenta características deseables y de percepción positiva para panelistas no entrenados.

Rendimiento: El rendimiento se vio influenciado por la cantidad de humedad que pierde el alimento, la distribución de esta y el encogimiento generado en el secado convectivo (Morales 1999). En las primeras etapas del proceso es donde se pierde mayor humedad (Ceballos y Jiménez 2012) y la reducción de volumen en proporción a la humedad perdida ha mostrado ser influenciada por el proceso utilizado. Un estudio realizado por Andrade y Castro (2009) le atribuyó influencia en el volumen final de $39.8 \pm 6.26\%$ al escaldado y de $21 \pm 3.50\%$ a la deshidratación osmótica de su proceso. En constancia con esto, los tratamientos control 1 y 2 mostraron un menor rendimiento en peso (cuadro 12) y un volumen más compacto, por lo que se asume que la DO generó un mayor rendimiento con un mejor volumen.

No obstante, los valores calculados como promedios del rendimiento pudieron haber sesgado los resultados por error humano y alta variabilidad entre repeticiones. Como factor de confianza en este caso, se identificó que el rendimiento con cáscara del control 2 visible en el (cuadro 12), fue muy similar al de Morales (1999) en su estudio sobre secado convectivo de banano. Así también, se tomaron como base los rendimientos sin cáscara porque a nivel industrial el porcentaje que esta ocupe puede ser muy variable y reducir la fiabilidad de los resultados esperados.

Cuadro 12. Rendimiento de tratamientos de deshidratación en la segunda fase

Tratamientos	Entero (g)	Pelado (g)	Cáscara (g)	Final (g)	R ⁴ con cáscara	R sin cáscara
Optimización E ¹ DO ² SC ³ (11 h)	312	200	112	125	39.70%	52.91%
Control 1 E SC (14 h)	315	200	115	45	14.69%	23.09%
Control 2 SC (14 h)	312	200	112	62	19.58%	30.83%

1: Escaldado (95°C por 6 min), **2:** Deshidratación osmótica (65°Brix 58 ± 2 °C, 2.5 h), **3:** Secado convectivo (2 ± 0.2 m/s y 70 °C), **4:** Rendimiento (%).

Definición de costos. Se definieron los tiempos de proceso para mano de obra y equipo, la cantidad de materia prima en función de los rendimientos sin cáscara por tratamiento y los costos unitarios con base en los precios establecidos para la Planta Hortofrutícola de Zamorano. Se tomaron como limitantes las capacidades máximas de la escaldadora (70.00 lb o 31.82 kg), marmita (16.67 lb o 7.58 kg) y Deshidratador (13.63 lb o 6.20 kg); razón por la cual los tiempos de proceso se definieron tomando en cuenta las tandas que requeriría un operador y una máquina de cada tipo.

La complicación del proceso aumentó los costos de elaboración a pequeña escala (cuadro 13), siendo estos costos establecidos para 10 kg se podría inferir que la diferencia entre tratamientos se podría reducir tomando en cuenta la diferencia de banano fresco producido por sus rendimientos. Las capacidades máximas de los equipos usados como referencia generaron un aumento en el tiempo de proceso mayormente marcado en el control 2. Esta diferencia debe ser evaluada tomando en cuenta que este estudio buscó generar un producto industrializado con mejores características sensoriales, menores costos y enfocado en alargar la vida comercial del banano de rechazo agregándole valor. Siendo resultados positivos para un producto diferenciado y de costos superiores a los tratamientos convencionales, se recomienda usar con discreción pruebas preliminares para la aplicación de este proceso a nivel industrial.

Asumiendo que el rendimiento de los tratamientos tuvo una gran influencia en este resultado, se interpretó que procesos mejor manejados y equipos de mayores volúmenes aumentarían notablemente la diferencia entre costos variables totales. El proceso de escaldado y deshidratación osmo-convectiva, aunque más caro, genera un banano con mejor rendimiento, textura y distribución de color que los convencionales. Por esta razón la definición de costos se presenta como base para la evaluación de factibilidad en la implementación de DO en escalas industriales. Modificar los principales factores implicados en la diferencia de costos podría aumentarla, no obstante la rentabilidad de los procesos tiene que ser evaluada por el la agregación de valor que generen.

Cuadro 13. Definición de costos de deshidratación por diferentes procesos para 10 kg de banano deshidratado.

Ingrediente	Costos		Optimización ¹		Control 1 ²		Control 2 ³	
	Precio (L.)	Unidad	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Banano fresco	L. 13.20	Kilogramo	18.90	L. 249.48	43.32	L. 571.78	32.43	L. 428.11
Azúcar	L. 15.93	Kilogramo	36.86	L. 587.10	0.00	L. 0.00	0.00	L. 0.00
Mano de obra	L. 229.20	Hora	1.42	L. 359.79	2.59	L. 593.70	1.93	L. 441.80
Escaldado	L. 0.15	Hora	0.10	L. 0.02	0.20	L. 0.03	0.00	L. 0.00
Deshidratación	L. 0.15	Hora	29.50	L. 4.43	76.91	L. 11.54	57.58	L. 8.64
Costo total de elaboración				L. 1 200.81		L. 1 177.05		L. 878.54
Costo de Empaque 200 g./ bolsa								
Empacado al Vacío	L. 0.15	Hora	0.17	L. 0.03	0.17	L. 0.03	0.17	L. 0.03
Bolsa de EVHO 7* 9	L. 1.50	Unidad	47.00	L. 75.00	50.00	L. 75.00	50.00	L. 75.00
Costo total de empaque				L. 75.03		L. 75.03		L. 75.03
Costo Total				L. 1 275.84		L. 1 252.07		L. 953.57

1: Tiempo de escaldado (6 min), concentración de solución osmótica (65 °Brix) y secado convectivo (11 h), 2: Tiempo de escaldado (6 min) y secado convectivo (14 h), 3: Secado convectivo (14 h).

La tasa de cambio fue de 23.7022 L./ \$ para compra de dólares y de 23.5384 L. / \$ para compra de Lempiras

4. CONCLUSIONES

- El tiempo de escaldado y la concentración de solución osmótica mostraron tener efecto sobre la actividad de agua, los sólidos solubles y la fracturabilidad del banano deshidratado; generando una matriz químicamente homogénea, porosa, de superficie compactada y color claro y uniforme.
- La deshidratación osmo-convectiva con escaldado mostró mejorar características químicas, texturales, colorimétricas y sensoriales en el banano deshidratado frente a otros procesos convencionales; principalmente por características en su estructura y la inhibición de factores de empardamiento.
- Se definió la deshidratación osmo-convectiva con escaldado fue proceso más caro que el secado convectivo convencional, limitando sus diferencias por rendimientos, capacidad de equipos y escala de producción.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar el desempeño microbiológico del banano deshidratado por DO, contrastando barreras químicas con el proceso del estudio, la vida de anaquel y su calidad nutricional.
- Evaluar otras combinaciones de pretratamientos y técnicas de secado para optimizar la textura y aceptación sensorial del producto sin sacrificar su calidad nutricional.
- Evaluar otros parámetros de secado y realizar un análisis de costos sobre el desempeño del proceso en condiciones industriales y/o menos tecnificadas; adaptables al pequeño productor.
- Evaluar el mismo tratamiento con otras variedades de banano y/o frutas, priorizando un enfoque saludable y más adecuado a tendencias nutricionales modernas.
- Optimizar el proceso de secado usando nuevas tecnologías como el pulso de vacío, el secado por microondas y/o la deshidratación por liofilización.
- Involucrar este proceso en frutas de consumo nacional y potenciales mercados internacionales, enfocando el estudio en la diferenciación por trazabilidad, responsabilidad social y ambiental.

6. LITERATURA CITADA

Andrade Lainez IE, Castro Iturralde PR. 2009. Influencia de pre tratamientos convencionales en el proceso de secado de banano y en las características físicas del producto final [Tesis]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador. 73p.

Agudelo Laverde LM. 2012. Interacciones agua-sólido en frutas liofilizadas y sus consecuencias sobre aspectos estructurales, atributos cromáticos y distribución espacial de la luz [Tesis]. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires-Argentina. 217p.

Bejarano Sierra SM, Morales Suárez MV. 2005. Estudio de la influencia de diferentes perfiles de variación de temperatura de aire sobre las propiedades físicas del banano [Tesis]. Universidad de la Sabana, Chía-Cuba.

Capilla P, Artigas J, Pujol J. 2002. Adaptación cromática y apariencia del color. *In*: Simon M, ed. Fundamentos de color. Valencia (España). Universidad de Valencia. p 59-64. [consultado 2016 sep 29]. <https://books.google.es/books?id=f8u6BLhkoaMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Castro E, De Hombre R. 2007. Medidores de textura de sólidos y semisólidos *In*: Parámetros mecánicos y texturales de los alimentos. La Habana (Cuba). Universidad de Chile. p. 108-129.

Ceballos EM, Jiménez MT. 2012. Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano *In*: Temas seleccionados de ingeniería de alimentos, Vol 6. p. 98-110.

Contreras C. 2006. Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas [tesis]. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 201p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1997. Report of the 21st session of the codex committee on methods of analysis and sampling, Appendix V. Ed. 22. Geneva. 23-28 jun, 1997.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Commodity Balances – Crops Primary Equivalent. FAO, FAOSTAT beta. Tomado en línea el 15 de Septiembre de 2016. Disponible en: <http://fenix.fao.org/faostat/beta/en/#data/BC>

Fernández PA. 2007. Estudio de la impregnación a vacío de miel y su efecto en atributos de calidad de hojuelas de manzana (*var. Granny Smith*) deshidratada. [memoria] Universidad de Chile, Santiago-Chile. 64p.

García Loredo AB. 2011. Textura y reología de tejidos vegetales mínimamente procesados [Tesis]. Universidad de Buenos Aires – Buenos Aires, Argentina. 304p.

Gaspareto O, Oliveira E, Da Silva L, Magalhães M. 2004. Influencia del tratamiento osmótico en el secado de la banana Nanica (*Musa cavendishii* L.) en secado de lecho fijo. Información Tecnológica. 15(6):9-16. La Serena, Brasil.

Gutiérrez J. 2000. Relación entre retención de agua y composición de los alimentos, *In*: Bravo J ed. Ciencia bromatológica, principios de los alimentos. Madrid (España) Díaz de Santos SA. p. 52-53 [consultado 2016 sep 29]. https://books.google.hn/books?id=94BiLLKBJ6UC&pg=PA52&dq=Textura+en+alimentos+deshidratados&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Textura%20en%20alimentos%20deshidratados&f=false

Millán FR, Ostjich Z. 2005. Aplicación de un diseño rotatable en el modelado empírico de la deshidratación osmótica de frutas. Redalyc, 30(010):638-643.

Morales A. 1999. Estudio del efecto de las condiciones de secado con aire caliente y de tratamientos contra el oscurecimiento sobre el proceso de banano pasa [tesis]. Universidad de Costa Rica. Ciudad universitaria Rodrigo Facio-Costa Rica. 71p.

Moreno DC, Sierra HM, Díaz-Moreno C. 2014. Evaluación de parámetros de calidad físico-química, microbiológica y sensorial de tomate deshidratado comercial (*Lycopersicum esculentum*). Rev. UDCA Act. & Div. Cient. 17(1):131-138.

Omolola A, Jideani A. Kapila P. 2015. Drying kinetics of banana (*Musa* spp.). rev. Inverc. 40(6):374-380.

Picaza N, Foodtrendtrotters. 2016. Las 9 tendencias de consumo que mayor impacto van a tener en los próximos años [Internet] Foodtrendtrotters, AZTY Tecnalia. [Consultado 2016 oct 03]. <http://www.foodtrendtrotters.com/2016/03/10/las-9-tendencias-de-consumo-que-mayor-impacto-van-a-tener-para-la-innovacion-alimentaria-en-los-proximos-anos/>

Rodriguez GC, Zuluaga CL, Puerta LF, Ruiz LV. 2013. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmódeshidratado. *Rev. Biotec. Sector Agrop. y Agroind*, 11(1):129-123.

Rodriguez MA, Madrigal LV, Vásquez J, Gómez CI. 2008. Efecto de la deshidratación osmótica en las características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas de conservas de híbridos de banano [Tesis]. Universidad de Colima, Colima-México. 9p.

Rozék A, Achaerandio I, Güell C, López F, Ferrando M. 2008. Efectos del sacado convectivo en la estabilidad de compuestos fenólicos añadidos a alimentos sólidos mediante deshidratación osmótica. II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria, V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos, noviembre 2008. Barcelona, España: CIMNE.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano). 2009. Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos [Internet]. Guatemala:RTCA [Consultado 2016 sep 21]. <http://www.mspas.gob.gt/files/Descargas/Servicios/NuevoRenovacion%20RegistroSanitario/2014/RTCA%20Criterios%20Microbiol%C3%B3gicos.PDF>

Suárez DX. 2003. Escaldado *In*: Acero LE, Rodriguez L, Yesid H, ed. Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas pasas y vinos. Bogotá (Colombia). Convenio Andrés Bello. CAB, Ciencia y Tecnología, p 15-16. [consultado 2016 sep 29]. https://books.google.hn/books?id=3xyk5WXjW5sC&pg=PA15&dq=escaldado+por+inmersi%C3%B3n+en+frutas&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=escaldado%20por%20inmersi%C3%B3n%20en%20frutas&f=false

Tavakolipour H, Zirjani L. 2014. Combined hot air-microwave in banana chips production [Tesis]. Islamic Azad University *In*: American-euracian J. Branch S, ed. Agric. & Envirom. Sci. Sabzevar (Iran). IDOSIC publications. p. 771-776.

Torres R, Montes EJ, Péres OA, Andrade RD. 2014. Influencia del color y estados de madurez sobre la textura de frutas tropicales (mango, papaya y plátano). *Rev. Info. Tecno*, 26(3):47-52.

Valero Ubierna C. 2001. Aplicación de la espectroscopía láser de reflectancia difusa (ERDT) a la medida de calidad interna de frutas y hortalizas [Tesis]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España.

Vizueta A. 2008. Estudio del efecto de la movilidad de agua a diferentes estados de madurez en la deshidratación osmótica del banano [Tesis]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador.

7. ANEXOS

Anexo 1. Boleta de evaluación sensorial

Evaluación sensorial de Banano deshidratado

Nombre: _____

21/10/2016

Instrucciones:

A continuación se le presentaran 3 muestras de banano deshidratado, una galleta de soda y un vaso con agua. Para un análisis adecuado debe darle una mordida a la galleta y tomar un sorbo de agua entre cada evaluación.

Se le recomienda seguir el orden asignado para facilitar su evaluación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Usando la tabla anterior, por favor marque el número que corresponda al nivel de aceptación que mejor represente su respuesta sobre los siguientes atributos:

Muestra: 503

<u>Atributos:</u>										
Color	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Olor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Textura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sabor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dulzura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Aceptación general	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Por favor ordene las muestras del 1 al 3 Según su preferencia:

503 _____

426 _____

679 _____

¿Qué atributo considera como el más influyente para su decisión?

Anexo 2. Explicación de resultados en preliminares

Preliminares. Se probaron dos soluciones osmóticas con concentraciones de 45 y 65 °Brix, con pretratamientos de escaldado por 6 min, 2.5 h de inmersión osmótica y secado convectivo a 65 °C por 8 h. Cada tratamiento tuvo $\frac{1}{2}$ del peso de muestras rebanado y $\frac{1}{2}$ del peso de muestra como fruto entero para el pretratamiento de escaldado. Las concentraciones de las soluciones osmóticas fueron calculadas en base al peso del banano para inmersiones en relación 1 en 10 (1 g banano en 10 g de solución osmótica). Para alcanzar las concentraciones esperadas se aumentó la temperatura de cada solución osmótica para deshidratarlas, posteriormente se redujo la temperatura hasta 50 °C. Se realizaron las inmersiones al mismo tiempo y se trató de mantener el control de la temperatura usando un termómetro de inmersión y bajas intensidades en las hornillas de la cocina de inducción.

Resultados. El uso de media muestra rebanada y media muestra como fruto entero para el escaldado comprobó que el uso de frutos enteros mantiene de mejor manera las rodajas durante la deshidratación osmo-convectiva. Usar rebanadas para el escaldado produce que estas se rompan durante la inmersión osmótica, dificulta su manejo y reduce el rendimiento por mermas del producto en la solución osmótica. El manejo de la temperatura con hornillas encendidas todo el tiempo complicó en sobremanera el proceso de deshidratación osmótica puesto que en muchas ocasiones se tuvo que apagar la cocina de inducción para no perder el control del experimento. El tiempo de secado convectivo no fue suficiente para alcanzar un secado adecuado, alargarlo a 11 h mejoró notablemente la humedad final de las muestras.

Durante las pruebas preliminares se encontró muy difícil mantener una temperatura específica constante, por esta razón se optó por alcanzar 60 ± 2 °C para eliminar la fuente de calor en las hoyas hasta que se redujera su temperatura a 50 °C. Definir esto facilitó alcanzar las concentraciones esperadas puesto que se pudo deshidratar las soluciones para aumentar °Brix cuando fue necesario, reduciendo la temperatura hasta 60 ± 2 °C al llegar a alcanzarlos

Anexo3. Estimación de la calidad y la vida útil del banano generado por el estudio

Calidad y vida útil. Las características sensoriales generadas por este estudio le atribuyen una mejor calidad sensorial al banano deshidratado. En contraste con esta mejora sensorial, la calidad nutricional del producto se ve disminuida por el azúcar de la deshidratación osmótica y la hidrólisis de almidones en el escaldado, vitamina C y aminoácidos esenciales como la lisina (Morales 1999). El banano deshidratado generado por el estudio no presenta suficiencia en barreras químicas para su estabilidad en vida de anaquel. Entendiendo que el banano seco sin pre-tratamiento tiene mayor estabilidad que los tratados (Andrade y Castro 2009), el proceso del estudio sacrifica estas barreras por una textura y color superiores. No obstante, el escaldado y la deshidratación como barreras físico-químicas, la inocuidad en el proceso y el empacado al vacío como barrera física si son adecuados para su almacenamiento. Tomando en cuenta que los objetivos del estudio priorizaron parámetros físicos y químicos de la calidad sensorial del banano, la estabilidad microbiológica fue obviada y justificada con literatura.

En el estudio de Andrade y Castro (2009) con banano Cavendish, se estima la vida útil del banano con secado convectivo sin pretratamientos en 30.18 días, con deshidratación osmótica en 19.01 días y de escaldado y deshidratación osmótica en 16.34 días. Tomando en cuenta que el proceso utilizado en ese estudio es muy similar al presente, se podría asumir resultados similares. Productos sin preservantes químicos, escaldado y/o pH bajos toman la actividad de agua y la humedad como sus principales barreras. Con los resultados del estudio se puede reducir la actividad de agua sin sacrificar las características sensoriales conseguidas. Como dato extra, algunos microorganismos resistentes a las temperaturas de secado convectivo son las micobacterias, algunos micrococos y esporas bacterianas y fúngicas. Los patógenos más relevantes son *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* y *Salmonella spp.* (Ceballos y Jiménez 2012). Asumiendo la ausencia o control de estos microorganismos por el escaldado y las BPM, el Manual Técnico Centroamericano estipula que para frutas desecadas los parámetros microbiológicos para su comercialización se establecen de la siguiente manera:

- *Escherichia coli*, como tipo de riesgo B, clase 2, con N de 5, c de 0 y m < 3NMP/g,
- *Escherichia coli* de categoría 5 y tipo de riesgo C tiene un límite máximo permitido < 3 NMP/g.
- *Salmonella ssp/25g*, tipo de riesgo B, clase 2, N 5, c 0, m Ausencia.
- *Salmonella ssp/25g* de categoría 10 y tipo de riesgo C tiene un límite máximo permitido de 0 NMP/g.