



Estudio de Diferentes Agentes Osmóticos en la Transferencia de Masa y Vida Útil en el Babaco Deshidratado

N. Hidalgo, F. Vargas, F. Cornejo

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, 09-015863

Guayaquil, Ecuador

Skyblue_001@hotmail.com, fabitavargasgonzalez@hotmail.com, fcornejo@espol.edu.ec

Resumen

En el presente trabajo de investigación se estudiaron los efectos en la transferencia de masa y vida útil del babaco seco previamente sometido a diferentes agentes osmóticos. Los experimentos realizados sirvieron para establecer la mayor velocidad de secado, mayor vida útil, las mejores características físicas y sensoriales del babaco deshidratado, con cuatro diferentes agentes osmóticos (sacarosa, miel, glucosa y una mezcla de miel con sacarosa). Dando como resultado que el babaco sometido a la solución de miel – sacarosa obtuvo los mejores valores.

Palabras Claves: Babaco, agentes osmóticos, transferencia de masa, vida útil.

Abstract

In the present investigation were studied the effects on mass transfer and shell life of dried babaco previously treated with different osmotic agents. The experiments served to establish the highest drying rate, extended shell life, the best physical and sensory characteristics of Babaco dehydrated with four different osmotic agents (sucrose, honey, glucose and a mixture of honey with sucrose). Resulting in the solution subjected to Babaco honey - sucrose was the best values.

Key Words: Babaco, osmotic agents, mass transfer, shell life.

1. Introducción

El babaco es una fruta es originaria de los valles subtropicales del Ecuador. Crece de un arbusto pequeño con hojas de variadas formas triangulares. Sus atractivas flores tienen una forma acampanada con pétalos en tonalidades blancas y amarillas. El fruto es una baya sin semilla, con canales y hombros pronunciados, que pesa entre 300g a 2.2kg dependiendo del tamaño. El nombre científico del babaco es *Carica pentagona* Heilb y pertenece a la familia *Caricaceae*, de la Especie *Pentagona* [1].

Debido a que es producto no tradicional su principal forma de comercialización es como fruta fresca. En esta investigación se utilizará la combinación de deshidratación osmótica y proceso de secado convencional para la obtención de un producto industrializado. Con la ayuda de cuatro diferentes agentes osmóticos se observó cual de estos ayudó a conservar las características físicas y sensoriales, y su influencia en la transferencia de masa durante el secado y la vida útil del producto final.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materia Prima

Los babacos fueron obtenidos de supermercados de la ciudad de Guayaquil, se seleccionaron los babacos principalmente por su sabor y grados Brix.

Tabla 1. Características Iniciales del Babaco

CARACTERÍSTICAS	
Textura	Blanda
Sabor	Ligeramente ácido
° Brix	8
Ph	4.4
Acidez Total (Ácido Málico)	0.066

2.1.1 Preparación de muestras.

Los babacos pasaron por un proceso de pelado, donde se removió toda la cáscara y la parte interna que no se consume. Luego se cortaron pequeños pedazos de la pulpa. Muy similar a la figura 1.

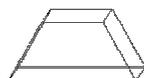


Figura 1. Forma de trozo de babaco para proceso.

2.2 Métodos Experimentales

2.2.1 Isotermas

Se realizaron isotermas del babaco fresco y babaco final por duplicado usando el método gravimétrico a temperatura constante de 32 ± 2 °C. [2,3]. Las isotermas fueron ajustadas por el modelo matemático de GAB y el programa Water Analyser. El valor de la monocapa fue determinado por el modelo de BET.

2.2.2 Deshidratación Osmótica

En el proceso de deshidratación osmótica se sumergió en soluciones al 55 % a temperatura ambiente, en una relación 6:1 (solución: muestra). Los agentes osmóticos usados fueron: Sacarosa, miel, glucosa y miel con sacarosa. Se realizó la medición de peso y grados Brix se realizó en dos etapas, siendo la primera etapa cada 5 minutos por media hora y la segunda Etapa cada 15 minutos por dos horas.

Para analizar la transferencia de masa durante la osmodeshidratación se utilizaron las siguientes fórmulas de manera porcentual:

$$(a) \text{Pérdida de Peso} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

$$(b) \text{Pérdida de Agua} = \frac{(W_i X_i) - (W_f X_f)}{W_i} \times 100$$

$$(c) \text{Ganancia de Sólidos} = \frac{(W_i \text{Brix}_i) - (W_f \text{Brix}_f)}{W_i}$$

En donde: W_i = Peso Inicial de la Muestra, W_f = Peso Final de la Muestra, X_i = Porcentaje de Humedad Inicial, X_f = Porcentaje de Humedad Final, Brix_i = Grados Brix Inicial, Brix_f = Grados Brix Final.

2.2.3 Secado

En el proceso de secado se utilizó una velocidad de aire de 4,19m/s, temperatura 55 ± 5 °C, para todos los pedazos de babaco. Se tomó pesos cada 10 minutos hasta llegar a peso constante.

La velocidad de secado se determinó por la siguiente fórmula:

$$(d) R_c = \frac{W_s \Delta X}{A \Delta t}$$

En donde: W_s = Peso de sólidos secos, A = Área de la muestra, ΔX = Diferencial de las humedades libres medias, Δt = Diferencial del tiempo en horas.

2.2.4 Diseño Experimental

El diseño de experimento que se usará será el método estadístico ANOVA one way (Analysis of Variance) que consiste en separar la variación total observada en cada una de las fuentes que contribuyen a la misma, y después se usará el método de Fisher para la prueba de rango múltiple. Se tendrá como variable única de respuesta la *velocidad de secado*

Los factores que afectan directamente a la variable de respuesta son los diferentes tipos de agentes osmóticos usados, estos son: Sacarosa, Glucosa, Miel y la mezcla Miel y sacarosa por lo que los niveles asignados a los factores va a ser de 4.

El efecto principal por la contribución de cada factor sobre la variable de respuesta va a ser el aumento en la velocidad durante el secado. Se considera al error experimental dentro del estudio ya a que ningún experimento puede considerarse de forma explícita a todas las variables potenciales que puedan afectar al experimento, esas variables no se consideran y se les denomina “nivel de ruido” ya que aunque se hace todo lo posible en el experimento por reducirlas (por medio de aleatorización), siempre van a estar presentes provocando variación, por menor que ésta resulte ser.

El modelo estadístico resulta ser entonces:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: μ es la media global, τ_j es el efecto del tratamiento y ε_{ij} es el error.

Tabla 2. Diseño de Experimento de la Velocidad de Secado

Variable de Resultado	Factores	Niveles
Velocidad de Secado	Agentes Osmóticos	1.Sacarosa 2.Miel 3.Sacarosa y Miel 4.Glucosa
Nivel de confianza	$\alpha = 0.05$	95%
REPETICIONES EXPERIMENTALES		5

2.2.5 Análisis Físico – Químicos

2.2.5.1 pH

Mediante el método de ensayo AOAC18-981.12 se observó un incremento en todos los tratamientos, siendo el más significativo el babaco con el agente

osmótico sacarosa, cabe resaltar que los alimentos que tienen menor pH retardan el pardeamiento no enzimático.

2.2.5.2 Acidez

El valor más alto para acidez fue para el babaco con miel y sacarosa usando el método AOAC 18-942.15 y el más bajo fue el de la fruta con miel, ambos expresados como ácido málico, debido a que este ácido es el que predomina en este tipo de fruta. Además la acidez al igual que el pH entre menor es su valor, la velocidad de pardeamiento enzimático también es menor.

2.2.5.3 °Brix

En el proceso de deshidratación de los babacos se produjo una ganancia considerable de sólidos solubles (° Brix), proceso en el cual se tomó la lectura en un refractómetro de cada una de las muestras.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el producto sometido a la solución de sacarosa fue el que obtuvo mayores grados Brix.

2.2.6 Análisis Sensorial

Para elegir al mejor producto se trabaja bajo el método de evaluación sensorial afectivo.

Prueba “A”

En todas las evaluaciones participaron 20 catadores no entrenados (consumidores habituales), y usando la tabla 3 de estimación de significancia $p=0,5$ de una cola se determinó si existe aceptación significativa.

Tabla 3. Número mínimo de juicios aceptados

Número de ensayos (n)	Nivel de Probabilidad		
	5%	1%	0,10%
20	15	16	18

Prueba “B”.

Los productos aceptados por el grupo de catadores se evaluaron nuevamente con un método afectivo aplicando la prueba de nivel de agrado o escala hedónica de 9 puntos.

2.2.7 Determinación de Vida Útil.

La determinación de la vida útil del producto final está ligado directamente con el análisis sensorial debido a que este nos indica en que humedad pierde su característica de calidad, en este caso se tomo en cuenta la textura.

Se determino la estabilidad del producto mediante la siguiente fórmula:

$$(e) \ln \frac{m_i}{m_e} = \ln \left[\frac{m_i - m_e}{m_e - m_c} \right] = \frac{k}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_0}{b} \theta$$

Donde: $\ln \frac{m_i}{m_e}$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque), $\frac{k}{x}$ = Permeabilidad del empaque en $\text{gH}_2\text{O}/\text{día m}^2\text{mmHg}$, A = Área del empaque (m^2), W_s = Peso de sólidos secos (g), P_0 = Presión de vapor de agua a la temperatura T (mmHg), b = Pendiente de la isoterma (tangente entre la Humedad crítica e inicial), m_i = Humedad inicial, m_e = Humedad de equilibrio, m_c = Humedad de crítica.

Se consideró un empaque trilaminado (poliéster - polipropileno - polietileno) empleado en la mayor parte de los productos deshidratados en el mercado, el cual presenta con un valor de $\frac{k}{x} = 6.25 \times 10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{día/mmHg}$.

3. Análisis de Resultados

3.1 Isotermas Obtenidas.

Las isotermas resultantes de la experimentación mediante el método isopiéstico y ajustadas a través del modelo matemático de GAB para el babaco como materia prima y para el producto final obtenido del proceso, se muestran en las siguientes figuras.

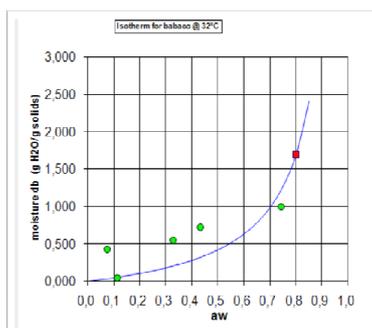


Figura 2. Isotherma de Materia Prima.

Se obtuvo el valor de monocapa de BET: $0.4283 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g de sólido seco}$.

Para los productos finales se obtuvo los siguientes valores de monocapa: sacarosa $1,54 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g ss}$, miel $1,39 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g ss}$, miel - sacarosa $1,03 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g ss}$ y glucosa $2,6 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g ss}$. Se observa claramente el aumento del valor de la monocapa con respecto al valor de la materia prima,

lo cual indica que los tratamientos garantizan una mayor estabilidad del producto final.

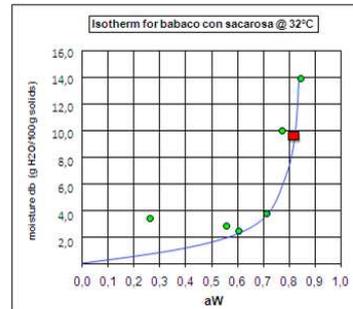


Figura 3. Isotherma de Babaco con Sacarosa.

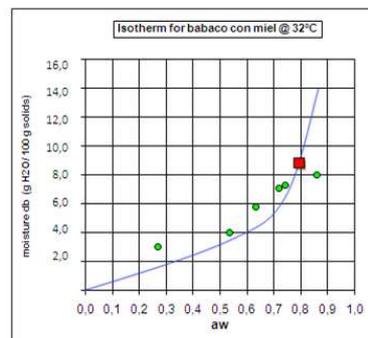


Figura 4. Isotherma de Babaco con Miel.

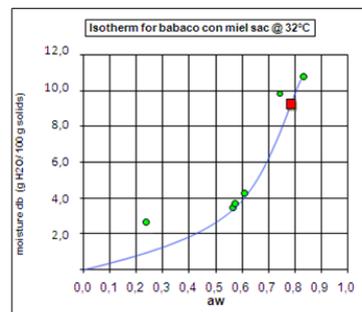


Figura 5. Isotherma de Babaco con Miel - Sacarosa.

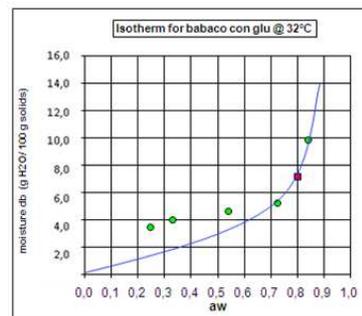


Figura 6. Isotherma de Babaco con Glucosa.

3.2 Efecto en la Transferencia de Masa de la Deshidratación Osmótica.

En las figuras 7 y 8 respectivamente muestran la pérdida de agua y la ganancia de sólidos del babaco sometido a deshidratación con los diferentes agentes osmóticos.

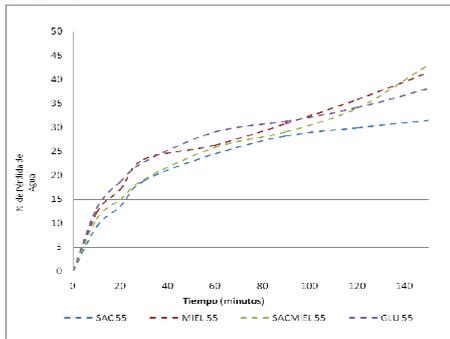


Figura 7. Pérdida de Peso del Babaco.

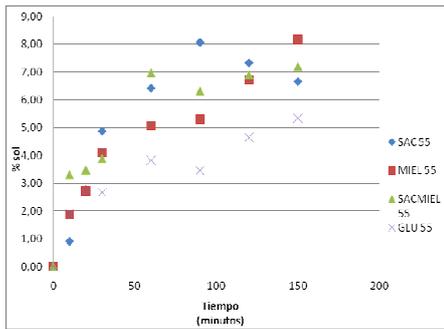


Figura 8. Ganancia de Sólidos del Babaco.

La determinación de los coeficientes globales de transferencia de masa, ayuda en gran manera a la selección adecuada de la solución osmótica a utilizar en el proceso de tratamiento osmótico, ya que, establecen la dificultad para el transporte de un determinado componente entre dos fases inmiscibles. Los valores de los coeficientes de difusión del agua (K_w) y de los coeficientes de difusión de sólidos (K_{SG}), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Coeficientes de difusión de agua y sólidos para las diferentes soluciones.

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA		
SOLUCIONES	K_w	K_{sg}
Sacarosa	0,051	0,083
Miel	0,053	0,077
Miel - Sacarosa	0,055	0,056
Glucosa	0,05	0,043

Al realizar la comparación de los coeficientes de difusión del agua (K_w) para las diferentes soluciones osmóticas, conviene escoger el que presenta mayor (K_w), debido a que presenta menor resistencia a la transferencia de agua. Por lo tanto, se escogería el proceso realizado con la mezcla de miel y sacarosa.

Sin embargo, en lo que se refiere a los coeficientes de difusión de sólidos, lo que se busca es el que ofrezca mayor resistencia a la difusión de sólidos. Por lo tanto, conviene el que posee menor coeficiente (K_{SG}), siendo éste el proceso realizado con la solución de glucosa. Este fenómeno se da, debido a que en la deshidratación osmótica tanto el agua como los sólidos de la solución osmótica compiten por difundirse hacia el alimento (sólidos) y desde el alimento hacia la superficie (agua).

Analizado lo obtenido anteriormente, se podría decir que el hecho de que no ha ingresado tanta glucosa al alimento, produjo que haya una mayor pérdida de agua, debido a que fue más difícil llegar al equilibrio osmótico.

Estadísticamente, primero se planteo las hipótesis nula y alterna para el coeficiente de difusión de agua (k_w). Donde la nula plantea que todos los agentes osmóticos presentan igual coeficiente de difusión de agua durante la deshidratación osmótica. Usando el ANOVA ONEWAY con una confianza del 95%, se rechaza esta hipótesis a favor de la alterna con un $p=0,000$, considerándose que existe diferencia entre las cuatro soluciones. Para encontrarla se aplicó el método de Fisher de comparación por pares, en el que se reveló que la diferencia significativa mostro la solución de miel y sacarosa.

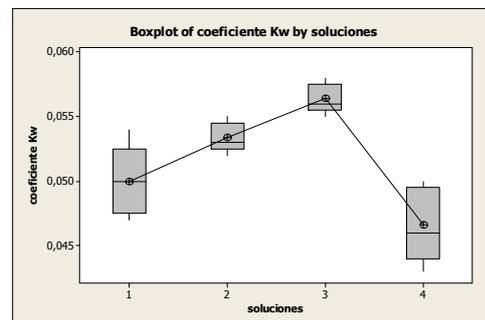
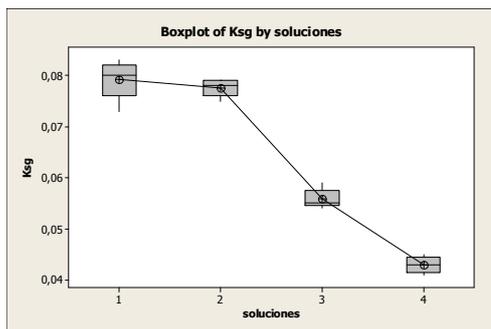


Figura 9. Gráfico de cajas de k_w por soluciones. 1= Sacarosa, 2 = Glucosa, 3= Sacarosa/Miel; 4= Glucosa

En relación al coeficiente de difusión de sólidos, estadísticamente se afirma lo anteriormente planteado, es decir que existe una diferencia entre la glucosa y las demás soluciones durante la deshidratación osmótica.

Mediante el uso del ANOVA ONE WAY con un nivel de confianza del 95% y un $p=0,000$; existe suficiente evidencia estadística para asegurar una diferencia entre los valores de el coeficiente de difusión de sólidos (K_{SG}). Esta diferencia se la analizo mediante Fisher, obteniendo como resultado que la solución de Glucosa posee el menor (K_{SG}).

Para determinar los efectos sobre la velocidad de secado se realizo la curva típica de secado, Humedad libre vs Velocidad de secado, para los cinco pre tratamientos usados. En la Figura 2 se observa las curvas para todos los pre tratamientos, en la que podemos observar que en la etapa de velocidad constante (BC) la muestra tratada con cloruro de calcio tuvo un mayor evaporación de agua poco ligada, esto se puede explicar debido a las propiedades que presenta esta sal, que aumenta la perdida de agua en el producto y disminuye la ganancia de solutos. En general, todas las muestras pre tratadas con sales tuvieron una velocidad de secado mayor, es decir, el uso de las sales ayudó a un secado más rápido de las muestras.



1= Sacarosa, 2 = Miel, 3= Sacarosa/Miel; 4= Glucosa
Figura 10. Gráfico de cajas de Ksg por soluciones.

3.3 Efecto en la Transferencia de Masa en el Secado.

Para determinar los efectos sobre la velocidad de secado se realizo la curva típica de secado, Humedad libre vs Velocidad de secado, para las cuatro soluciones usadas además de una línea adicional para el babaco que no fue sometido a ningún tratamiento. En la figura 11 se destacan dos curvas principalmente, la curva de secado del babaco tratado con la solución de glucosa que es la que posee mayor velocidad de secado, seguida por la solución de miel – sacarosa. Mientras las demás curvas se comportan de manera similar

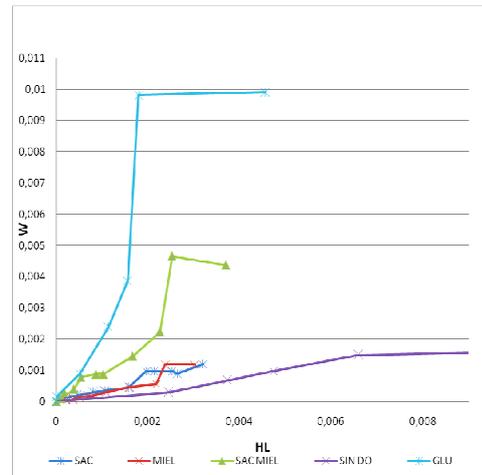


Figura 11. Curvas de Humedad Libre vs Velocidad de Secado

Para analizar estadísticamente las diferencias entre los agentes osmóticos en la velocidad de secado, se realizó el diseño de experimento en el que primero se planteó la hipótesis nula (H_0) de que las medias de la población son iguales, versus la hipótesis alterna en que todas son distintas, es decir, que poseen diferente velocidad de secado.

Ejecutando el diseño se obtuvo como resultado una probabilidad de $p= 0.000$. El valor p es inferior al nivel de confianza establecido de 0.005; lo que indica que la hipótesis de partida es falsa. Se demuestra así, que se ha obtenido suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alterna. Es decir, que los agentes osmóticos si tienen efecto en la velocidad durante el secado.

La diferencia entre los diferentes tratamientos se realizó por comparación de pares mediante el método de Fisher. Estadísticamente, se obtuvo que la solución que ejerció mayor influencia en la velocidad de secado es el producto sometido a glucosa como agente osmótico, seguido del babaco con miel y sacarosa. No se demuestra una diferencia entre el babaco con miel y el babaco con sacarosa. Figura 12.

3.4 Efecto de las Soluciones Osmóticas en las Características Sensoriales del Producto Final.

En la figura 13 se resume el grado de aceptación por parte de los panelistas para cada producto.

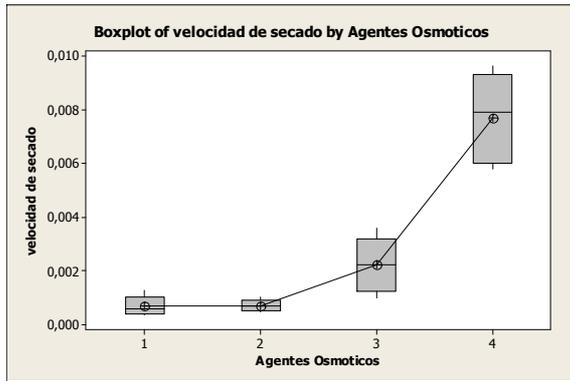


Figura 12. Gráfico de cajas de Velocidad de Secado por soluciones.
1= Sacarosa, 2 = Miel, 3= Sacarosa/Miel; 4= Glucosa

Los resultados demostraron que el babaco sometido a Sacarosa obtuvo un 90%, con un nivel de significancia del 0.1 %. Adicionalmente, los babacos sometidos a la combinación de Sacarosa y Miel obtuvieron un porcentaje de aceptación de 80% con un nivel de significancia 1 %.

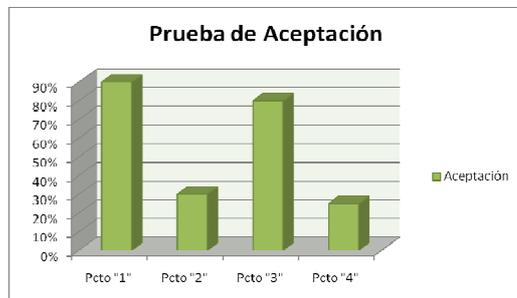


Figura 13. Diagrama de pareto de grado de aceptación de productos.

Por otro lado, las muestras de babaco sometido a Miel, obtuvieron un 30% de aceptación. Sin embargo, el número de juicios aceptados de 6 representa el mínimo de juicios aceptado por los tres niveles, por lo que la muestra es rechazada. Lo mismo ocurrió para babaco sometido a Glucosa quien obtuvo un grado de aceptación de 25%.

Los babacos deshidratados con sacarosa y la mezcla sacarosa-miel fueron sometidos a la prueba de escala hedónica. Las figuras 14 y 15 muestran los diagramas de Pareto, en los cuales se observan los

resultados obtenidos de la evaluación de cada producto.

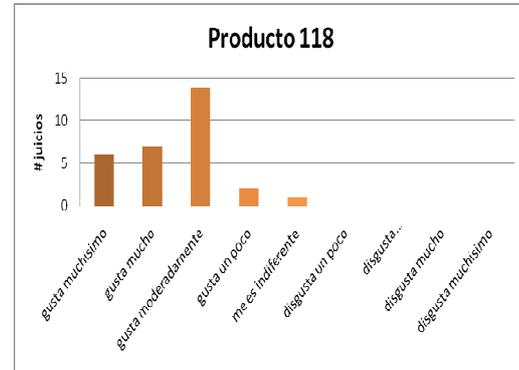


Figura 14. Diagrama de pareto de escala hedónica para el babaco con sacarosa.

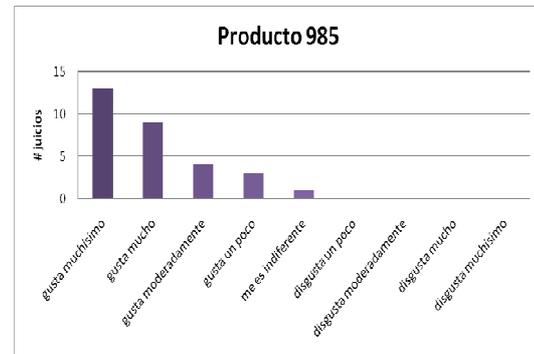


Figura 15. Diagrama de pareto de escala hedónica para el babaco con miel - sacarosa.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las dos pruebas, el babaco sometido a la mezcla de Miel con sacarosa como Agente Osmótico, es el que presenta una mayor aceptación y nivel de agrado dentro de los panelistas en esta evaluación sensorial.

En cuanto al encogimiento las muestras se comportaron según la figura 16. En el producto final sometido a las diferentes soluciones se observó que la fruta deshidratada con sacarosa, miel y miel sacarosa conservaban su forma reducida, y que el producto que se sometió a glucosa se convirtió una figura amorfa de un tamaño longitudinal no mayor a los 1.5 +/- 0.5 cm.

3.5 Efecto de las Soluciones Osmóticas en la Vida Útil del Producto Final.

Según la fórmula aplicada de vida útil antes mencionada y con las isotermas finales, se pudo llegar los siguientes resultados de la tabla 5.

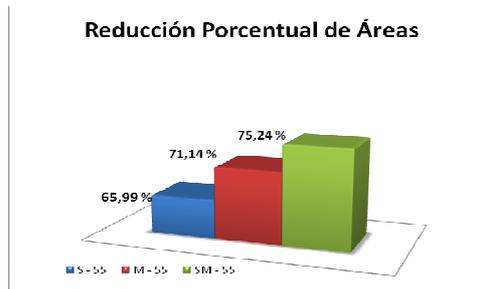


Figura 15. Diagrama de reducción de área después del secado.

Tabla 5. Resultados de Vida útil de los Productos Finales obtenidos.

Vida Útil del Producto Final	
Agente Osmótico	Tiempo (meses)
Sacarosa	14
Miel	13
Miel - Sacarosa	11
Glucosa	18

Como se puede observar hay una estrecha relación entre la monocapa de Bet y la vida útil, por lo que el babaco que obtuvo mayor estabilidad en percha fue el sometido a la solución con glucosa, con 14 meses y un valor de monocapa de 2.6 g H₂O/ 100 g ss. Esto se debe a que existe mayor cantidad de agua ligada al alimento lo cual indica que es muy difícil que estas moléculas de agua estén disponibles para ciertas reacciones de descomposición, o cambios organolépticos que afecten su calidad, en este caso la textura.

3.6 Determinación del Mejor Tratamiento

Finalmente, basándose en los análisis de transferencia de masa, sensorial, físico-químicos y de vida útil de los productos finales obtenidos se utilizó factores de ponderación para determinar cuál es el producto que reúne las características necesarias para cumplir el objetivo de este estudio.

Tabla 6. Factores de Ponderación.

Factores de Ponderación	
30%	Transferencia de Masa
25%	Análisis Sensorial
25%	Vida Útil
20%	Análisis Físico-Químico

Para calificar se utilizó una escala del 1 al 4, siendo 4 el mayor puntaje.

Como se puede observar claramente en la tabla 8, el babaco sometido a la solución de miel y sacarosa es el que cumple con los objetivos planteados en este estudio.

Tabla 8. Resultados de Ponderación de Tratamientos.

Sac	Miel	Miel-Sac	Glu
2,3	2,7	2,95	2,85

4. Conclusiones y Recomendaciones

El babaco que perdió la mayor cantidad de agua fue el que sometido a miel con sacarosa, lo que coincide con el coeficiente de difusión de agua obtenido de 0.055. Este fenómeno se explicaría debido a que la sacarosa y la miel compiten por el agua disminuyendo la actividad de agua (0,910) en comparación con las otras soluciones.

En cuanto a la velocidad de secado, el babaco deshidratado osmóticamente con glucosa obtuvo la mayor velocidad. Este resultado demostraría que la glucosa compite con el alimento de tal manera que incrementa la movilidad molecular del agua en la fruta. Esto estaría relacionado al menor peso molecular de la glucosa (180 g Mol) con respecto a los otros agentes osmóticos.

Finalmente, a pesar de lo antes expuesto el desarrollo de un análisis sensorial determinó que el babaco con la solución miel-sacarosa fue la que cumplió con las expectativas del consumidor, a pesar de tener mejores resultados cinéticos con la glucosa.

El presente estudio es un referente válido para un diseño productivo que permita dar un valor agregado al babaco y ofrecer una alternativa de su consumo y exportación.

Con los datos y resultados expuestos en esta tesis, se podría realizar un estudio usando fructosa como agente, ya que es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa pero con diferente estructura.

6. Referencias

- [1] **BABACO.** http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/babaco/babaco_mag.pdf. 18 de febrero del 2009.
- [2] Moiture Soption: Practical Aspects of Isotherm, Measurement and Use, LABUZA, University of Minnesota, 1984. 12 de Julio del 2008.
- [3] Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. C. R. Leric. Journal of Food science. 1985. 13 de Julio del 2008.