

# **INFLUENCIA DE PRE TRATAMIENTOS CONVENCIONALES EN EL PROCESO DE SECADO DE BANANO Y EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PRODUCTO FINAL**

Castro, Paul; Israel, Andrade; Cornejo, Fabiola.  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN  
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
Campus Gustavo Galindo Km 30,5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

## **Resumen**

Este proyecto tuvo como objetivo, evaluar los efectos de tratamientos previos al secado como deshidratación osmótica, uso de antioxidantes y escaldado de banano.

A las muestras secas con los diferentes pre-tratamientos se les realizaron isotermas para obtener el valor de la monocapa, el cual tiene una relación directa con el tiempo de vida útil.

Una vez finalizado los procesos de secado, se determinó la velocidad de secado, donde el producto que presenta la mayor velocidad de secado es el que no fue sometido a ningún pre-tratamiento, lo cual está relacionado con la vida útil.

Posteriormente, como complemento de la experimentación, se determinó el tiempo de vida útil, mediante el método de Theodore Labuza, comprobándose así la relación que existe con el valor de las monocapas de las isotermas y los valores de velocidad de secado, la cual la muestra sin pre-tratamiento arrojó el valor mayor.

Finalmente, se analizó estadísticamente los resultados obtenidos, mediante un diseño de experimentos, comparando las variables de respuesta con un grado de significancia del 95%.

**Palabras Claves:** Secado, vida útil, monocapa, isoterma, pre-tratamiento.

## **Abstract**

This objective was to evaluate the effects of pre-drying treatments such as osmotic dehydration, antioxidants, and blanching using banana.

A dry samples with different pre-treatments were performed to obtain the isotherms of the monolayer, which has a direct relationship with the shelf life.

Once drying processes, it was determined the rate of drying where the product has the highest rate of drying is that which was not subjected to any pre-treatment, which is related to life.

Subsequently, in addition to the experiment, we determined the shelf life, using the method of Theodore Labuza, proving the relationship and the value of the monolayers of the isotherms and the values of drying rate, which the sample without pre-treatment showed the highest value.

Finally, we statistically analyzed the results, with a design of experiments, comparing the response variables with a significance level of 95%.

**Key words:** Drying, shelf life, monolayer, isotherm, pre-drying treatments.

## 1. Introducción

Los productos secos que se elaboran en el país y se exportan, tienen muy poca acogida en los consumidores. Ésto es porque las características físicas de estos alimentos no son agradables a los consumidores. Por esta razón es que a muchos productos secos se les aplican tratamientos previos al secado, con el fin de mejorar su apariencia. Entre los pre-tratamientos más utilizados están la deshidratación osmótica, el uso de antioxidantes, el escaldado, etc.

Una de las frutas más importantes en nuestro país es el banano. Se han realizado varios estudios de secado de banano y efectos de tratamientos como los mencionados en esta fruta. Sin embargo, no se ha realizado un estudio profundo de la influencia que tienen estos tratamientos durante y después del secado del banano.

Este proyecto sustenta los efectos de la deshidratación osmótica utilizando glucosa y sacarosa, del uso del antioxidante metabisulfito de sodio y del escaldado en agua a temperatura de 100 °C, en las características físicas y sensoriales del producto, en el tiempo de vida útil de este y la influencia de estos tratamientos durante el secado de banano.

## 2. Materiales y Métodos

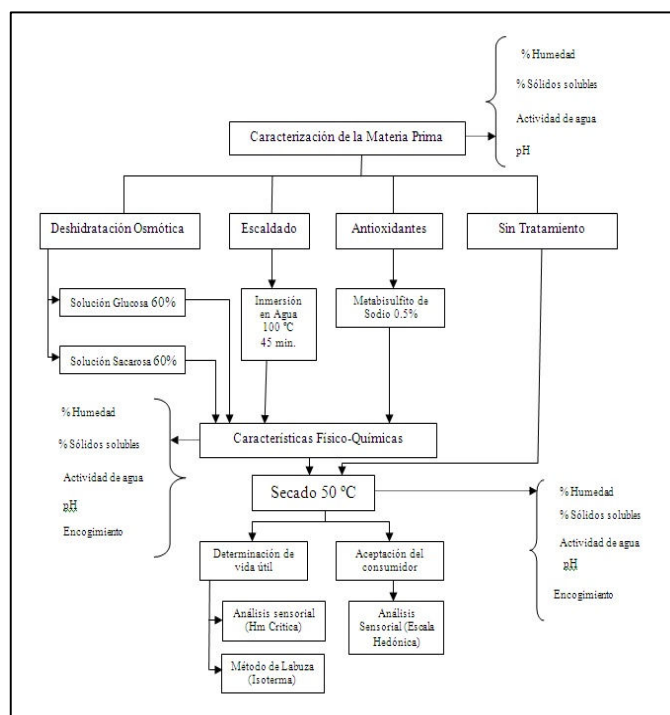
Se utilizó una de las variedades de Banano más consumidas en el Ecuador *Musa cavendish* grado de madurez 4, en la hacienda La Isabela ubicada en el Km. 5 vía a Naranjito.

Se midió la humedad según el método oficial 22.021(A.O.A.C.). Los sólidos solubles se determinaron midiendo el índice de refracción de las muestras en un refractómetro (A.O.A.C.). La actividad de agua se determinó según el método oficial 32.005 (A.O.A.C.). Además se midió el pH mediante un potenciómetro y el encogimiento de la muestra a la salida del secador utilizando una escala en cm. Los datos fisicoquímicos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Características Fisicoquímicas.**

Color	Cuerpo amarillo y puntas verdes
Aw	0.977 +/- 0.006
H (%)	74.38 +/- 4.33
Sólidos Solubles °Brix	21 +/- 6.27
pH	5.33 +/- 0.544

### Procedimiento



**Figura 1. Esquema experimental realizado**

### Procedimiento para la Deshidratación Osmótica.

La Deshidratación Osmótica se realizó con dos agentes osmóticos, Sacarosa y Glucosa a 60 ° Bx.

Los pedazos de banano sometidos a este tratamiento se cortaron en forma de un ortoedro con dimensiones de 3cm x 3cm x 1cm. La relación empleada fue de 4:1 fruta jarabe y fue monitoreado considerando el peso, humedad, Aw y grados Brix hasta las 5 horas de proceso. Las pruebas fueron realizadas por quintuplicado y con réplica.

### Metodología del Escaldado

Se sometieron las muestras al tratamiento de escaldado con el fin de inhibir la enzima polifenoloxidasas. Este proceso se lo llevó a cabo con agua a 100 °C. Una vez finalizado el tratamiento se le realizó la prueba del guayacol obteniendo que a los 45 segundos de exposición las enzimas se inactivaron.

### Metodología del proceso de Agentes Antioxidantes.

Para el desarrollo de este proceso se trabajó con metabisulfito. Según estudios realizados por Chávez y Avanza (2006), la concentración adecuada para la inactivación enzimática es de 0,5% de metabisulfito. Las muestras fueron expuestas a estas soluciones por 3 minutos previos al proceso de secado.

### Metodología del Proceso de Secado.

Una vez realizados los diferentes pre-tratamientos se procedió al secado. Este se realizó a una temperatura de 50 +/- 2 C y una humedad relativa de 64 +/- 2 C. Se monitoreó el peso de la fruta hasta peso constante.

Se utilizó el secador de bandejas fabricado en La Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción. Una vez terminado el proceso, se midió el producto para determinar el encogimiento, así también se analizó Aw y humedad. Todas las pruebas fueron realizadas por quintuplicado.

Con los datos obtenidos se realizaron las curvas de velocidad de secado.

### Determinación de estabilidad de productos secos.

Una vez finalizado el proceso de secado con los diferentes tipos de pre-tratamientos, se realizaron las

pruebas para determinar la estabilidad en percha de los productos. Primero, se determinó la humedad crítica de la fruta seca. La humedad crítica se determinó colocando las muestras en baño de maría controlando la humedad a través del tiempo. Se tomaron cinco muestras y se analizaron sensorialmente mediante una escala hedónica de cinco puntos con cinco panelistas semientrenados y analizados estadísticamente, con un 95% de confiabilidad.

Adicionalmente, se calculó la densidad del producto para determinar la masa del producto en el empaque y el área del mismo. Una vez obtenidos dichos datos con las Isotermas de los diferentes pre-tratamientos se obtuvo la humedad inicial y humedad de equilibrio.

Finalmente, se procedió a calcular la vida útil de los productos mediante el método de Labuza Ec1.

$$\Theta c = \frac{Ln \tau c}{(k/x) * (A/Ws) * (Po/b)} \quad Ec1.$$

$$\ln \tau = \ln \frac{me - mi}{me - m} \quad Ec2.$$

### Humedad Crítica

Con el fin de obtener la humedad crítica de los diferentes productos, se desarrolló una prueba hedónica, en el que consistió introducir vapor de agua al alimento y evaluar sensorialmente cada cierto tiempo los cambios que se produzcan en el mismo. Para la evaluación del producto se explicó a los panelistas que únicamente se desarrollará la prueba de manera visual.

### Diseño Experimental.

El programa utilizado para el diseño experimental fue Minitab 14, con el fin de analizar los datos de una manera más objetiva.

Para el análisis de los datos se empleó como herramienta el ANOVA de un solo factor. Los niveles utilizados fueron cinco, los cuales correspondían uno a cada uno de los tratamientos estudiados.

Las variables de respuestas fueron vida útil, encogimiento, humedad crítica, coeficientes de

difusividad en periodo constante y en periodo decreciente. El nivel de significancia seleccionado fue del 95% ( $P=0,05$ ).

Las hipótesis se definieron de la siguiente manera:

$H_0$  (hipótesis nula)= no existen diferencias significativas entre tratamientos.

$H_a$  (hipótesis alternativa)= existen diferencias significativas entre tratamientos.

Si el  $p$  obtenido es menor o igual que 0,05, se concluye que las medias de uno o más pretratamientos son significativamente diferentes y que existe influencia significativa del pre-tratamiento sobre las variables de respuesta mencionadas anteriormente.

Si el  $p$  obtenido es mayor que 0,05, se concluye que entre las medias de uno o más pretratamientos no existen diferencias significativas y que no existe influencia significativa del pre-tratamiento sobre las variables de respuesta mencionadas anteriormente.

Para las comparaciones múltiples entre los pre-tratamientos se utilizó la herramienta de diferencia significativa mínima de Fisher, a fin de determinar cual pre-tratamiento tiene mayor efecto sobre la variable de respuesta, y cuales tiene similar efecto sobre la misma.

### 3. Resultados

#### Cinética de Deshidratación Osmótica.

Los tiempos para alcanzar el 50% de reducción de peso del producto en la solución de glucosa y sacarosa fueron, 120 min y 300 min respectivamente.

Los factores que influyen principalmente en la transferencia de masa son: agente osmótico y el peso molecular. Por lo tanto, el soluto con mayor peso molecular, hace que salga mayor cantidad de agua.

Sin embargo, por el tamaño del soluto, la competencia entre la salida de agua y entrada de soluto en contracorriente se hace más difícil y esta es la razón por la cual demora más tiempo usando sacarosa, comparado con la deshidratación osmótica con glucosa, que tiene menor peso molecular.

Una vez obtenidos los coeficientes de transferencia de agua ( $K_w$ ) y del sólido ( $K_s$ ), se

seleccionó el agente osmótico (glucosa) como el más idoneo para la deshidratación osmótica previo al secado, ya que al poseer el  $K_w$  más alto (TABLA 2) permite que haya mayor salida de agua del alimento en menor tiempo y menor entrada de sólidos (TABLA 3).

**Tabla2. Coeficientes de transferencia de Agua**

<b><i>K<sub>w</sub> Glucosa</i></b>	<b>0.09</b>
<b><i>K<sub>w</sub> Sacarosa</i></b>	<b>0.06</b>

**Tabla3. Coeficientes de transferencia de Sólidos.**

<b><i>K<sub>s</sub> Glucosa</i></b>	<b>0.039</b>
<b><i>K<sub>s</sub> Sacarosa</i></b>	<b>0.045</b>

#### Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua en el secado de banano.

Con la finalidad de analizar los diferentes pre-tratamientos luego del secado, se elaboraron las isotermas de absorción tanto para las muestras sin tratamiento, como para las muestras con pre-tratamientos y posteriormente secadas.

**Tabla4. Contenido de humedades en las diferentes monocapas.**

<b>PRE-TRATAMIENTO</b>	<b>CONTENIDO HUMEDAD DE LA MONOCAPA (g H<sub>2</sub>O/100 g ss.)</b>
Sin Tratamiento y Secado	0,43
Metabisulfito y Secado	0,38
D.O. Glucosa y Secado	0,35
D.O. Sacarosa y Secado	0,25
Escaldado y Secado	0,06

Se puede observar que en el caso de la muestra sin tratamiento, el contenido de humedad de la monocapa es de 0.43 g H<sub>2</sub>O/100 g ss., la misma que está íntimamente relacionada con la vida útil y al

poseer mayor agua ligada al almidón, es más estable comparado a los que poseen una monocapa con menor valor de monocapa.

El pre-tratamiento con metabisulfito presenta un valor de monocapa de 0.38 g H<sub>2</sub>O/100 g ss, el cual es bastante cercano al sin tratamiento, esto se debe a que el agente antioxidante no compite de manera significativa por el agua con el almidón y por esto el resultado es similar.

La D.O. con glucosa posee un valor más alto de la monocapa en comparación con sacarosa, ya que este edulcorante liga más fuertemente el agua en la estructura de la fruta. Se puede observar un valor de monocapa de 0,35 g H<sub>2</sub>O/100 g ss, a diferencia de la sacarosa que posee un valor menor de la monocapa de 0.25 g H<sub>2</sub>O/100 g ss.

Por último, la muestra escaldada posee el valor menor de monocapa de 0,06 g H<sub>2</sub>O/100 g ss, debido a que al realizar el pre-tratamiento de escaldado cambia la estructura del alimento, puesto que la temperatura alta gelifica los almidones, pasando estos a una estructura amorfa, y su capacidad de ligar el agua disminuye, entonces el agua esta mas disponible para reacciones.

### Efecto de los pre-tratamientos en la cinética de secado de piña.

Con el interés de conocer la influencia de los diferentes tratamientos previos al secado convencional del banano, se realizó la determinación de la velocidad de secado tanto para la muestra sin pre-tratamientos como para la muestra de la fruta tratada previo al secado convencional.

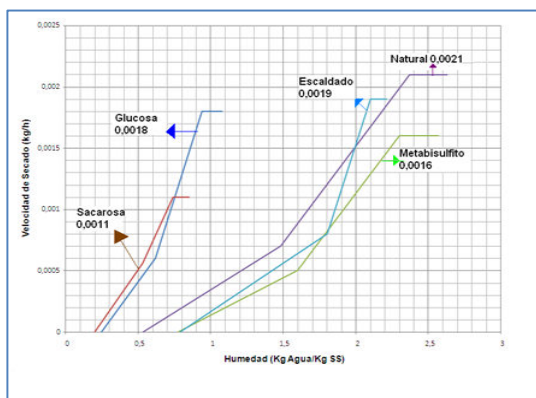


Fig. 2. Análisis de Curvas de Secado

Sabiendo que, el contenido de humedad libre se encuentra disponible para migrar del alimento por lo cual es eliminado fácilmente por secado. Al realizar el secado a las muestras que han recibido un tratamiento preliminar como la deshidratación osmótica, éstas muestran menos cantidad de agua libre ya que el tratamiento ayuda a la eliminación parcial del contenido de agua del alimento. Por otro lado, las muestras sin pre-tratamiento y con los otros pre-tratamientos no existe eliminación parcial del agua, sin embargo contribuyen a la disminución del tiempo durante el secado.

Al analizar las curvas de velocidad de secado expuestas en la figura 2, se observa que las muestras con los pre-tratamientos presentan velocidades de secados inferiores que las piñas sin tratamiento, esto ocurre porque los pre-tratamientos afectan directamente a la matriz de la fruta, cambiando las propiedades naturales de la misma.

En el caso de la deshidratación osmótica hay una eliminación parcial de agua, ésta produce un encogimiento y con esto una reducción del tamaño de los poros, que disminuye la transferencia de agua en el secado. Mientras que en el escaldado se afecta directamente a la estructura de la fruta, ya que la alta temperatura gelifica los almidones y debilita la capacidad de ligación del agua, la cual está más libre y se puede eliminar más fácilmente.

En el caso del Metabisulfito, tiene un comportamiento muy cercano al de la muestra sin pre-tratamiento. Esto se debe a que el metabisulfito no altera con significancia en la estructura del almidón y su capacidad de ligar el agua. En el secado de muestra sin tratamiento, no existe ninguna alteración a su estructura, la transferencia de agua es mayor durante el secado lo que hace que tenga la mayor velocidad.

### Difusividades durante el secado

La muestra con mayor difusividad es la escaldada, debido a que la gelificación de los almidones del banano, debilita la ligación de estos con el agua, permitiendo de esta manera que haya una mayor velocidad de migración de agua. La siguiente muestra que posee una difusividad alta es la muestra sin tratamiento, esto se debe a que la muestra no ha sufrido cambios en la estructura que altere su comportamiento durante el secado.

El valor de difusividad de glucosa es más alto que metabisulfito y sacarosa, esto se debe a que la glucosa capta más agua y a la vez esta es más fácil

de remover, comparado con el metabisulfito que no influye en la competencia por el agua con el almidón. Por último, se encuentra la sacarosa con los coeficientes de difusividad más bajos, esto se le atribuye a que durante la deshidratación osmótica los poros se cerraron y el agua que se eliminaba tenía que atravesar toda la estructura, por eso la difusión fue menor.

**Tabla 5. Análisis de Difusividades**

Tratamiento	Periodo Constante (m/s <sup>2</sup> )	Desviación Estándar	Periodo Decreciente (m/s <sup>2</sup> )	Desviación Estándar
Escaldado	0.019	+/- 0.0136	0.0201	+/-0.008
Sin Tratamiento	0.011	+/- 0.0045	0.011	+/- 0.0026
Glucosa	0.005	+/-0.0004	0.0031	+/-0.0002
Metabisulfito	0.004	+/- 0.0005	0.0031	+/- 0.0007
Sacarosa	0.003	+/- 0.0003	0.0030	+/- 0.0002

#### Efecto de los pretratamientos en las características físicas y sensoriales del banano seco.

Uno de los mayores cambios físicos que sufren las frutas durante el secado es el encogimiento.

**Tabla 6. Porcentaje de Encogimiento Promedio**

Tratamiento	Promedio Encogimiento
Metabisulfito	42,3% +/- 4,62
Escaldado	39,8% +/- 6,26
Sin Tratamiento	35,8% +/- 8,20
DO Glucosa	28,2% +/- 5,29
DO Sacarosa	21% +/- 3,50

El secado con el pre-tratamiento de Metabisulfito presentó el mayor encogimiento, esto se debe a que el antioxidante afecta la superficie del banano, favoreciendo a su deformación.

En el caso de escaldado, existe una alteración de la estructura de la fruta, por la gasificación de los almidones, aumentando la cantidad de agua libre, lo que aumentará la cantidad de agua eliminada durante el secado, y así exista un encogimiento alto.

La muestra que no recibió ningún tratamiento preliminar, al no sufrir ningún cambio en su

estructura, se logra que al final del secado el encogimiento sea considerable.

#### Efecto de los pretratamientos en la estabilidad de la pina deshidratada.

Utilizando la Ec. 1 y 2 se calculó la vida útil del producto, con el cual se puede comprobar que guarda una relación con las monocapas, ya que mientras mayor sea el contenido de humedad en la monocapa la, vida útil aumenta.

Se puede observar en la tabla 5 la muestra de menor vida útil es la que sufrió el pre-tratamiento con metabisulfito con 1.18 meses, mientras que escaldado y sacarosa obtuvieron mayor vida útil, 2.57 meses y 3.02 meses respectivamente; en la cual se puede observar que el tiempo en percha es similar. Por último, se puede notar que las muestras con mayor estabilidad son la de glucosa 4.15 meses y natural 4.31 meses.

**Tabla 7. Vida Útil del Banano Seco**

Pre-Tratamiento	Vida Útil (Días)
Sin Tratamiento y Secado	30.18
Metabisulfito y Secado	20.11
D.O. Glucosa y Secado	19.29
D.O. Sacarosa y Secado	19.01
Escaldado y Secado	16.34

## 4. Conclusiones

Los tratamientos a los cuales se sometió al banano previo al secado, si tuvieron influencia en el comportamiento durante el secado, estabilidad y características físicas de la fruta.

Se concluyó que en la deshidratación osmótica, la glucosa deshidrata la fruta en menor tiempo que la sacarosa. Esto se debe a que el coeficiente de difusión de sólidos de glucosa es menor, lo que indica que entran menos sólidos a la fruta; pero a la vez, por el tamaño de las moléculas de glucosa, ésta entra más fácilmente favoreciendo la salida rápida del agua.

Analizando los valores de las monocapas de las isotermas y comparándolas con el cálculo del tiempo de vida útil, se concluye que la muestra

secada sin pre-tratamiento, es la que mayor estabilidad tiene. Esto se debe a que la fruta no ha sido modificada en su estructura química por ningún tratamiento previo y el agua está fuertemente ligada a las moléculas de almidón, estando esta, menos disponible para las reacciones.

Comparando las velocidades de secado de los diferentes pre-tratamientos, la muestra escaldada es la que presenta la mayor velocidad. Este comportamiento es debido a que la temperatura de escaldado, produce una gelatinización del almidón del banano. El almidón gelatinizado, liga el agua de manera más débil que el almidón en forma natural, lo que ayuda a la remoción más rápida del agua durante el secado.

## 5. Agradecimiento

A la MSc. Fabiola Cornejo Z. por su invaluable ayuda, a la Escuela Superior Politécnica y a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

## 6. Bibliografía y Referencias

1. OWEN R. FENNEMA. FOOD CHEMISTRY. Third Edition, Marcel. Dekker, Inc, New York, 1996. Pags 59-65
2. Pavinee Chinachoti. Water Mobility and its Relation to functionality of sucrose containing food systems.
3. BARBOSA G; Vega, Deshidratación de alimentos, Editorial acribia S.A.; Zaragoza; 2000. Pp 45-47.
4. LABUZA, THEODORE P., Moisture sorption: practical aspects of isotherms measurement and use. Published by the association of cereal chemist. ST. Paul, Minnesota.
5. FITO; CHIRALTA. ; QUAN X., Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic of fruits. Universidad politecnica de Valencia. Departamento de tecnología de alimentos, Valencia-España, 1998.
6. GEANKOPLIS, C.J; Procesos de transporte y operaciones unitarias, tercera edición, Editorial Continental S.A., Mexico, 1998. Pags 578-579.
6. Dadzie, B.K. y J.E. Orchard. 1996. Post-harvest criteria end methods for routine screening of banana/plantain hybrids. International Network for the improvement of Banana and plantain. Montpellier, France. 64 p.
7. Association of Official Analytical Chemists. 1980. thirteenth edition. Printed and bound by George Banta Company, Inc. pp. 363,507,537,547. Menasha, Wisconsin.
8. N.B. Treguno , N.B. 1995. Osmodehydrofreezing of apples effects on tissue integrity and sub-zero transitions; M.Sc.Thesis. University of Guelph, ON, Canada.
9. Bolin, H.R. & Huxsoll. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. J. Food Sci. 48, pp 202-205.
10. Fernandes, F.A.N., Rodriguez, S., Gaspareto, O.C.P., & Oliveira, E.L. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. Food Research International, 39, 492-498.
11. Bolin, H.R. & Huxsoll. 1993. Partial drying of cut pears to improve freeze/thaw texture. J. Food Sci. 58, pp 357-360.
12. Chavez Maria G- Avanza J.R. 2006. Evaluación de pretratamientos en el secado convectivo de berenjenas. Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. pp 1-4.
13. Mauro, M.A., E. Shigematsu, N.M. Eik, M. Kimura. Osmotic dehydration and air-drying kinetics of star fruit (*Averrhoa carambola* L). Sao Paulo State University.
14. Ponting, J.D., Watters G.G., Forrey RR. Jackson R, Stanley W.L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. Food Technol. 20: 125-128.
15. Zhang, P; Whistler, R; Hamaker, R. Banana Starch: Production, physicochemical properties and digestibility - a review. Whistler center for carbohydrate research and department of food science, Purdue University, USA, 2005
16. Li, S; Dickinson, L. and Chinachoti, P. Mobility of "Unfreezable" Water in Waxy Corn Starch

by H and NMR. *J. Agric. Food Chem.* 1998, 46 pp 62 – 71.

17. Lechert, H. Water Binding on Starch: NMR Studies on Native and Gelatinized Starch. Water Activity. Influence on Food Quality, 1978, pp 223 - 241.
18. Paris, M; Bizot, H; Emery, J; Buzaré, Y; Buléon, A. NMR Local Range Investigations in Amorphous Starchy Substrates: II-Dynamical Heterogeneity Probed by H/C Magnetization Transfer and 2 D WISE Solid State NMR. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2001.
19. Roa, V; Tapia, M and Millán, F Mass Balances in Porous Foods Impregnation. *Journal of Food Science*. Vol. 66, No 9, 2001. Food Engineering and Physical Properties. Institute of Food Technologists.
20. Chatakanonda, P; Chinachoti, P; Sriroth, K; Tang, H and Hills, B. *Journal of Food Science*. Vol 66, No 9, 2001. Food Engineering and Physical Properties. The Influence of Time and Conditions of Harvest on Structure- Functions Properties of Cassava Starch-A Proton NMR Relaxation Study. *Carbohydrate Polymers*, Volume 53, Issue, 15 August 2003, Pages 233-240.