



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Influencia de Pre tratamientos Convencionales en el Proceso de Secado
de Banano y en las Características Físicas del Producto Final”

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS DE ALIMENTOS

Presentada por:

Israel Emilio Andrade Lainez

Paul Renato Castro Iturralde

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y ayudarme a ser mejor, a mi familia por su paciencia, apoyo y amor. A mis profesores, por sus enseñanzas; en especial a las Ingenieras Fabiola Cornejo y Priscila Castillo por su confianza y apoyo.

Paul Castro I.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A TODA MI FAMILIA

A LA COMUNIDAD
MISIONERA JARCIA

Paul Castro I.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza para concluir esta etapa. A mis padres por ser un ejemplo y un apoyo incondicional siempre. A mi hermano, a mis amigos de la universidad y del proyecto.

Israel Andrade L.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MI HERMANO

A MI SOBRINA

Israel Andrade L.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE PROYECTO



CIB -ESPOL



Ing. Priscila Castillo S.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Israel Andrade Lainez



Paul Castro Iturralde

RESUMEN

Las frutas se caracterizan por su alto contenido inicial de humedad, que las hace susceptibles al deterioro. Por muchos años, científicos han realizado investigaciones para disminuir la disponibilidad de agua y alargar su tiempo de vida útil, sin embargo, esto conlleva cambios drásticos en la estructura natural de la fruta. Con el fin de mejorar las características de las frutas secas, se han realizado investigaciones aplicando a la fruta pre-tratamientos al secado. Por lo tanto este proyecto se basó en el análisis y estudio de los efectos que producen pre-tratamientos como la deshidratación osmótica, escaldado y uso de antioxidantes en el banano, previo al secado, evidenciando que los pre-tratamientos tienen efecto sobre la estabilidad, velocidad de secado y características físicas y organolépticas del banano seco.

Para la deshidratación osmótica, los agentes osmóticos empleados fueron, glucosa y sacarosa, los cuales son muy utilizados para este proceso y de fácil obtención. La deshidratación osmótica se la realizó con las mismas condiciones para ambos edulcorantes, para poder hacer la comparación de su influencia en la fruta. Se pudo observar que el comportamiento de la glucosa difiere de la sacarosa tanto en tiempo de deshidratación osmótica, entrada de sólidos, velocidad de secado, difusividad del agua durante el secado y tiempo de vida útil debido a la estructura química diferente de ambos azúcares.

Se sometió a la fruta a otros pre-tratamientos, como el escaldado en agua y la adición del antioxidante metabisulfito de sodio. El escaldado modificó la estructura del banano, influyendo en la velocidad de secado, mientras que la influencia del metabisulfito de sodio durante el secado fue relativamente mínima comparada con la muestra sin pre-tratamiento, pero si altera las características organolépticas.

Posteriormente, se realizaron las isotermas de los productos secos, para determinar el valor de la monocapa, la cual está directamente relacionada con la estabilidad del producto seco, evidenciándose que la muestra sin pre-tratamiento al secado presenta mayor estabilidad.

Finalmente, se comprobó la estabilidad del banano seco por el método de Theodore Labuza en comparación con los resultados obtenidos de las isotermas.

Con el fin de hacer una comparación de los resultados de forma significativa, éstos fueron analizados estadísticamente mediante un diseño de experimentos, con un grado de significancia del 95%.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. FUNDAMENTO TEORICO.....	2
1.1. Efecto del en los alimentos.....	2
1.1.1. AW y Estabilidad.....	2
1.1.2. Isotermas de Absorción.....	4
1.1.3. Movilidad Molecular.....	7
1.2. Deshidratación de Frutas.....	8
1.2.1. Pre-tratamientos.....	8
1.2.2. Secado.....	12

1.2.3. Estabilidad de Productos Secos.....	15
--	----

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.1. Caracterización de Materia Prima.....	18
2.2. Diseño Experimental.....	20
2.3. Análisis Físico Químicos.....	24
2.4. Determinación de Isotermas de Absorción.....	26
2.5. Metodología del proceso de Deshidratación Osmótica.....	28
2.6. Metodología del Escaldado.....	32
2.7. Metodología del proceso de Adición de ácidos orgánicos.....	33
2.8. Metodología del Proceso de Secado.....	34
2.9. Determinación de Estabilidad de Productos Secos.....	38

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
3.1. Determinación de parámetros de proceso para los pre-tratamientos elegidos.....	41
3.1.1. Cinética de Deshidratación Osmótica.....	41

3.2. Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua del banano deshidratado.....	47
3.3. Efecto de los pre-tratamientos en la cinética de secado del banano.....	55
3.3.1. Curvas de Secado.....	55
3.3.2. Cálculos de coeficientes de difusión aplicando la Ley de Fick.....	59
3.4. Efecto de los pre-tratamientos en las características físicas y sensoriales del banano deshidratado.....	64
3.5. Efecto de los pre tratamientos en la estabilidad del banano deshidratado.....	68

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
--	----

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

Aw	Actividad de agua
AOAC	Association of Analytical Communities
°Bx	Grados Brix
BET	Brunauer-Emmett-Teller
°C	Grados Centígrados
cm.	Centímetros
DO	Deshidratación Osmótica
Ec.	Ecuación
Fig.	Figura
GAB	Guggenheim-Anderson-de- Boer
g H ₂ O/100 g ss	Gramos de agua por 100 gramos de sólido seco
g	Gramos
H	Humedad
HR	Humedad Relativa
Kw	Coefficiente de difusión de agua
Ks	Coefficiente de difusión de sólidos
Min	Minutos
pH	Potencial de hidrogeno

SIMBOLOGÍA

Δ	Diferencial
%	Porcentaje
+/-	Mas - Menos
me	Humedad de equilibrio
mi	Humedad inicial
m	Humedad critica
Δt	Diferencial de tiempo
Δx	Diferencial de humedad

ÍNDICE DE FIGURAS

			Pág.
Figura	1.1	Relación entre estabilidad de alimentos y la Aw.....	3
Figura	1.2	Esquema de Isotherma de Sorción.....	4
Figura	1.3	Isotherma de Sorción de humedad para el rango de baja humedad del alimento.....	5
Figura	1.4	Gráfica curva de Secado.....	13
Figura	2.1	Experimentación.....	16
Figura	2.2	Pantón de Colores para Grado de Madurez del Banano.....	17
Figura	2.3	Dimensión de la muestra.....	19
Figura	2.4	Probabilidad del residuo.....	22
Figura	2.5	Equipo de medición de actividad de agua Aqua lab...	24
Figura	2.6	Esquema de Isothermas.....	26
Figura	2.7	Sistema para obtención de Isothermas de Desorción...	27
Figura	2.8	Esquema de Deshidratación Osmótica.....	28
Figura	2.9	Esquema del Escaldado.....	33
Figura	2.10	Esquema de Inmersión en antioxidantes.....	28
Figura	3.1	Coefficiente de difusión del agua en Glucosa.....	42
Figura	3.2	Coefficiente de difusión del agua en Sacarosa.....	43
Figura	3.3	Coefficiente de difusión de sólidos en Glucosa.....	44
Figura	3.4	Coefficiente de difusión de sólidos en Sacarosa.....	45
Figura	3.5	Isotherma de Secado sin Pre-tratamiento.....	49
Figura	3.6	Isotherma de Meta bisulfito y Secado.....	50
Figura	3.7	Isotherma de D.O. con Glucosa y Secado.....	51
Figura	3.8	Isotherma de D.O. con Sacarosa y Secado.....	52
Figura	3.9	Isotherma de Banano Escaldado y Secado.....	53
Figura	3.10	Curvas de Velocidades de Secado de Banano con diferentes Pre- Tratamientos.....	55
Figura	3.11	Diferencias significativas en difusividades en periodo constante.....	60
Figura	3.12	Diferencias significativas en difusividades en periodo decreciente.....	62
Figura	3.13	Diferencias significativas de los encogimientos.....	65
Figura	3.14	Tendencia de los Consumidores.....	66
Figura	3.15	Diferencia significativa entre la vida útil.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 2.1	Característica físico-químicas de la materia prima...	18
Tabla 2.2	Dimensiones del Banano.....	19
Tabla 2.3	Análisis físico- químico.....	24
Tabla 2.4	Características del Secador de bandejas.....	34
Tabla 3.1	Valores de las monocapas de las Isotermas de las muestras secadas.....	48
Tabla 3.2	Velocidades de Secado (m/min).....	57
Tabla 3.3	Difusividad en el Periodo Constante.....	60
Tabla 3.4	Difusividad en el periodo decreciente y desviación estándar.....	61
Tabla 3.5	% Encogimiento Promedio.....	63
Tabla 3.6	Vida útil de Banano Seco.....	68

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 *Musa cavendish*.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

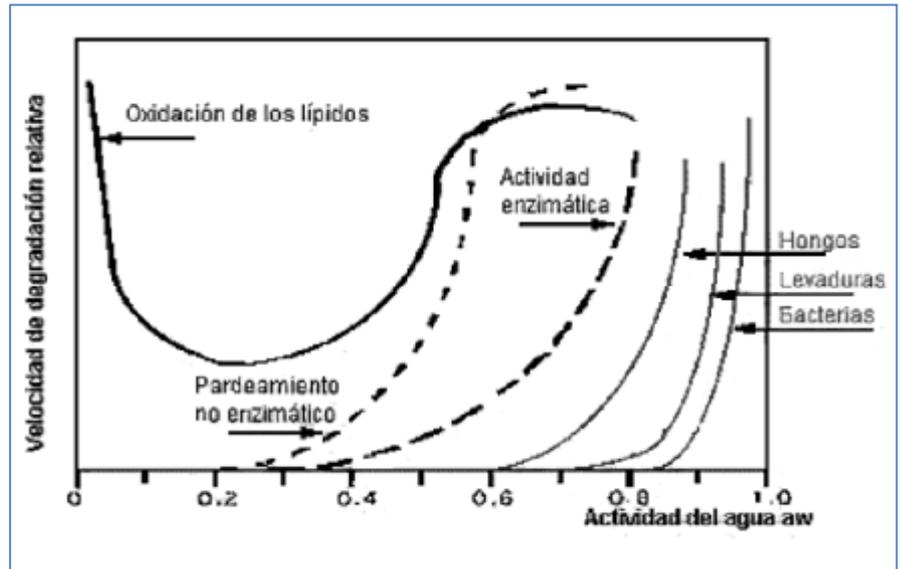
1.1 Efectos del Agua en los Alimentos

1.1.1 Aw y Estabilidad

Unos de los factores más influyentes en la estabilidad de los alimentos es la actividad de agua (A_w). Esta se define como la relación que existe entre la presión de vapor de un alimento dado, en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La A_w indica la fracción de agua que está libre en un alimento. Por ejemplo, mientras mayor A_w posea el alimento, más perecedero es, y por lo tanto, el agua está más disponible para el crecimiento de microorganismos,

reacciones químicas y reacciones enzimáticas (4) (Ver Fig. 1.1).

Figura 1.1
Relación entre estabilidad de alimentos y la A_w .



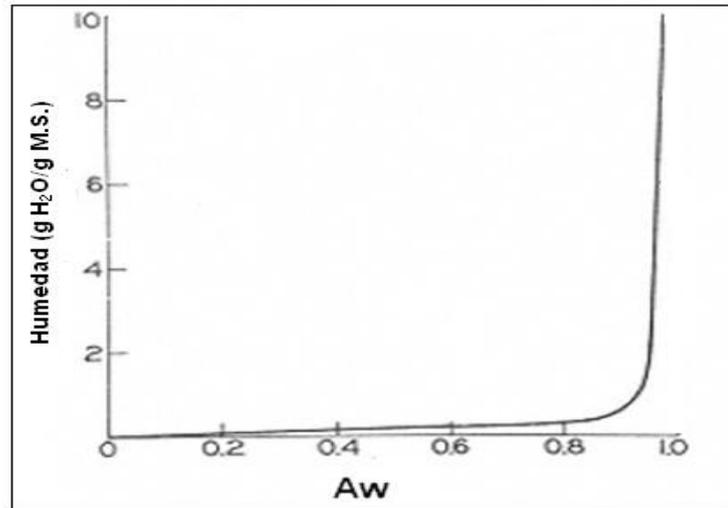
Reaction at limited water concentration (Labuza,1970) (4)

El porcentaje de humedad en el alimento difiere de la A_w , debido a que la humedad indica la cantidad de agua contenida en el alimento, pero no muestra que cantidad está disponible para las reacciones de deterioro, mientras que la A_w nos da una idea de la disponibilidad de agua.

1.1.2 Isotermas de Absorción.

Una isoterma es la relación que existe entre el contenido de agua (expresado en masa de agua por unidad de masa de materia seca) de un alimento y su actividad de agua a temperatura constante. Además, la isoterma nos indica la cantidad de agua removida, en el componente a una actividad de agua conocida o presión de vapor relativa, cuando está en equilibrio. Las isotermas de sorción, cobran importancia en los procesos de secado, mezcla, empaclado y almacenamiento (1). En la figura 1.2 se aprecia una isoterma de sorción de un elemento humectante como el azúcar.

FIGURA 1.2
Esquema de Isoterma de Sorción

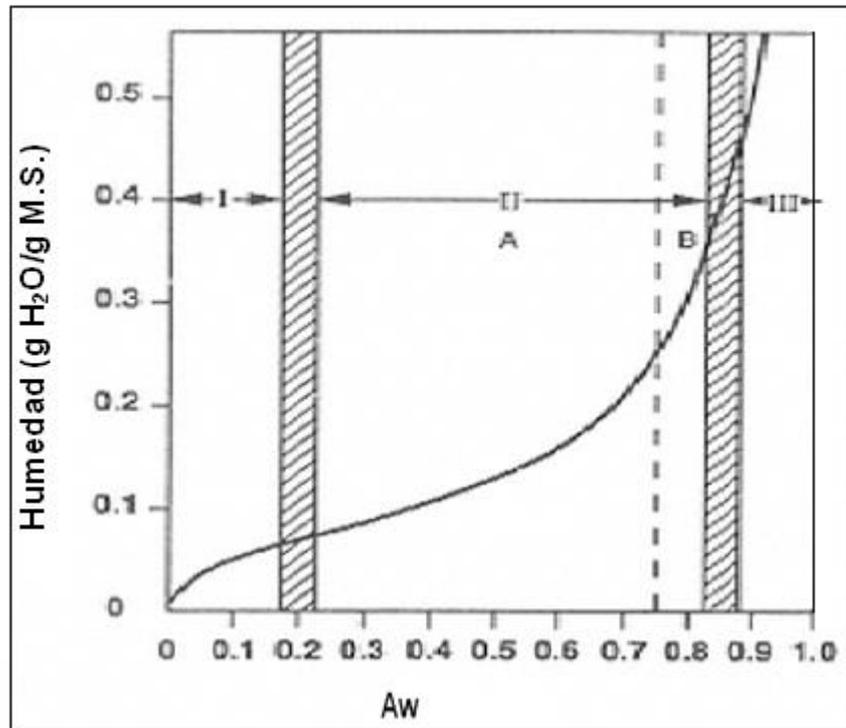


Owen R Fennema. FOOD CHEMISTRY. Third edition.
1996 (1)

Para comprender la utilidad de las isotermas de sorción, suelen dividirlas en tres zonas como se representa en la Figura 1.3 A medida que se avanza desde la zona I (seca) a la zona III (de alta humedad), difieren considerablemente las principales cualidades del agua en cada zona.

Figura 1.3

Isoterma de Sorción de humedad para el rango de baja humedad del alimento



Owen R Fennema. FOOD CHEMISTRY. Third edition. 1996 (1).

El agua presente en la zona I de la isoterma es el agua del alimento más fuertemente absorbida y más inmóvil. Esta agua está absorbida a sitios polares accesibles por interacciones agua-ión o agua-dipolo, además esta agua no sirve como solvente y no está presente en cantidad suficiente para ejercer un efecto plastificante sobre el sólido (1).

El final de mayor humedad de la zona I (límite de zona I con zona II) corresponde al contenido de humedad del alimento llamado agua de la monocapa ($A_w = 0-0,2$). La zona II ($A_w = 0,2-0,8$) ocupa los sitios restantes de la primera capa y varias capas adicionales en torno a los grupos hidrofílicos del sólido, designándose agua multicapa; esta capa se asocia con las moléculas vecinas primariamente por enlaces de hidrogeno agua-agua y agua-soluto. El agua de la zona III ($A_w = 0,8-1$) de la isoterma consta del agua de las zonas I y II, más el agua añadida de la zona III; siendo esta agua la menos fuertemente ligada y más móvil (molecularmente) de los alimentos.

1.1.3 Movilidad Molecular

La movilidad molecular a diferencia de la actividad de agua, no es un parámetro termodinámico sino de tipo cinético y permite explicar algunos estados de no equilibrio. Ésta depende de la temperatura y de la viscosidad. La concentración o la velocidad de secado impiden la formación de cristales, la solución aumenta de

forma considerable su viscosidad y adquiere un estado gomoso primero y vítreo después (2). La cantidad existente como agua libre se favorece con el tratamiento térmico, cuanto mayor sea la temperatura aplicada; se incrementa la movilidad molecular y se favorece la exudación que conduce a una desecación del alimento (2). En efecto, la movilidad molecular, se relaciona con la cantidad de agua necesaria para disolver y movilizar el sustrato. Por lo tanto, ésta tiene una influencia sobre las velocidades de las reacciones químicas y crecimiento microbiano. La estabilidad de los alimento depende de la movilidad molecular y no de la A_w .

1.2 Deshidratación de Frutas

1.2.1 Pre- tratamientos

Los pre-tratamientos utilizados fueron:

- Deshidratación osmótica
- Escaldado por inmersión
- Adición de antioxidante

Deshidratación Osmótica: La deshidratación osmótica consiste en la extracción de agua de un producto que se sumerge en una disolución hipertónica a un tiempo y temperatura específica. Esta extracción, se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica o baja actividad de agua de la disolución, o por el gradiente de concentración entre la disolución y el sólido (3).

En el proceso de deshidratación osmótica, es importante lo que corresponde a la diferencia del potencial químico a ambos lados de la membrana, entre el alimento y la solución osmótica (4). La transferencia de materia se realiza hasta que las actividades de agua de la solución y del alimento se encuentran en equilibrio. La cinética del proceso de deshidratación está determinado por la aproximación al equilibrio, por la presión osmótica, diferencial inicial de concentraciones, por el agente osmótico, por las velocidades de difusión que están controlados usualmente por el transporte de humedad en el producto y por su estructura, lo que suele conocerse como porosidad (5).

Escaldado: Es un tratamiento térmico, que se aplica sobre todo a productos vegetales. A diferencia de otros procesos de conservación, el escaldado no destruye los microorganismos ni alarga la vida útil de los alimentos, éste inactiva enzimas y ablanda la superficie de frutas y vegetales. Esta técnica, suele usarse previo a otro proceso, como puede ser la congelación, el enlatado, la liofilización o el secado. El escaldado tiene varias fases; la primera fase consiste calentar el agua a una temperatura de 100° C; la siguiente etapa consiste en sumergir el alimento durante un periodo de tiempo que suele variar entre treinta segundos hasta tres minutos a la temperatura deseada. Ésto dependerá del método utilizado y de las propiedades físicas del producto, por ejemplo el tamaño, la forma, textura o madurez. El tiempo de calentamiento dependerá del método, los cuales pueden ser vapor o agua. Utilizar agua caliente tiene el inconveniente de que se produce una mayor pérdida de nutrientes por lixiviación, con lo que el valor nutritivo del alimento queda reducido. El tiempo de escaldado además se debe determinar experimentalmente, tomando como índice la inactivación

de las enzimas peroxidasa y catalasa, que son las enzimas más termo resistentes en los vegetales. El último paso es realizar un enfriamiento rápido. De lo contrario se contribuye a la proliferación de bacterias termófilas, resistentes a la temperatura.

Antioxidantes: La oxidación es un proceso químico, que en la mayoría de los casos, ocurre debido a la exposición al aire (oxígeno), o a los efectos del calor y luz. Los antioxidantes desempeñan un papel fundamental, garantizando que los alimentos mantengan su sabor y su color y puedan conservarse durante más tiempo. Uno de los antioxidantes más usados es el metabisulfito, el cual cumple un papel importante en la Industria alimentaria por su capacidad de inhibición del pardeamiento enzimático y no enzimático, prevención del enranciamiento oxidativo, no produce modificación de las propiedades reológicas e inhibe la proliferación de microorganismos, lo cual favorece a la estabilidad del alimento. Pero también posee efectos negativos como reducir las propiedades vitamínicas de los alimentos,

influye en su sabor característico y en algunas personas puede ser la causa de intoxicaciones.

1.2.2 Secado

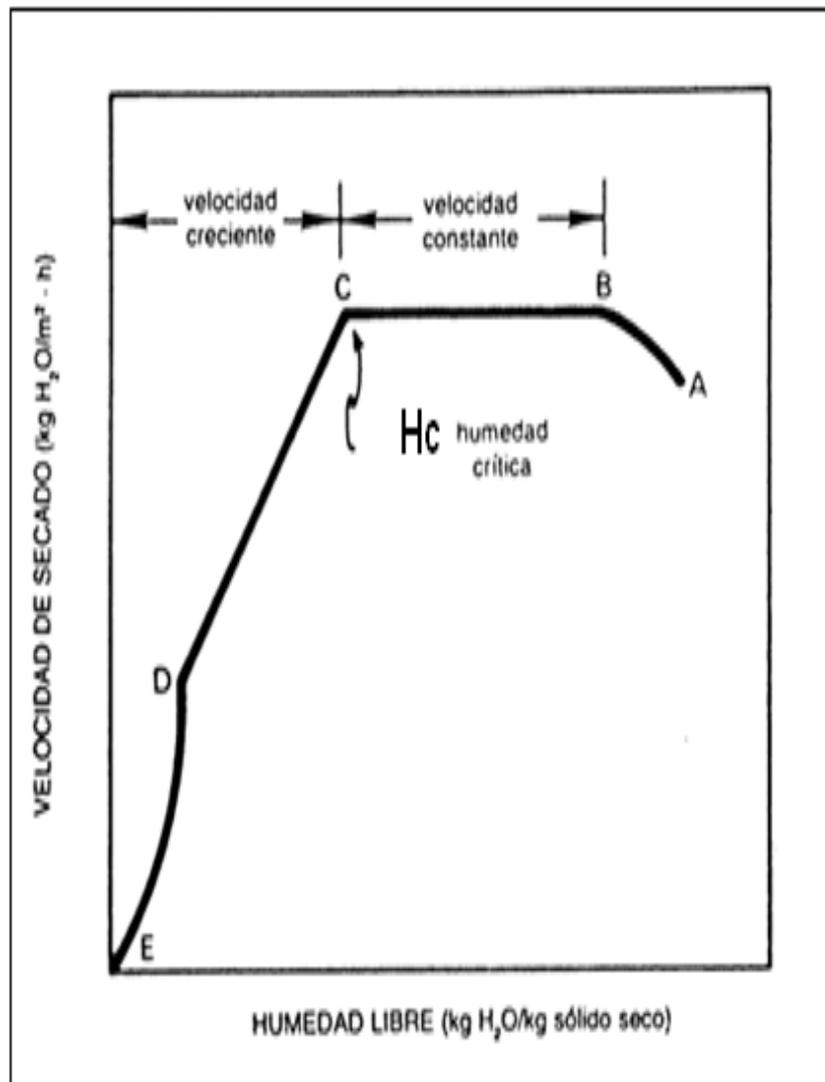
El secado es la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. El secado de materiales biológicos como los alimentos, se usa como una técnica de preservación, ya que los microorganismos que provocan la descomposición de estos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua (7). En el proceso de secado intervienen una gran cantidad de factores que hay que tener en cuenta. Por ejemplo, no debe dañarse la estructura de los productos, influyendo negativamente sobre la calidad de los mismos.

La representación gráfica de la velocidad de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denomina “curvas de secado”. Por otro lado, la velocidad

de secado no es la misma durante todo el proceso, es decir, que la eliminación de agua se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es diferente y tendrán un comportamiento diferente según sea el tipo de producto a deshidratar. Generalmente, la forma de las curvas es complicada y deben obtenerse experimentalmente. En la figura 1.4 se representa una posible curva de secado. El producto se encuentra inicialmente en el punto A. La etapa inicial de secado (AB) ocurre según el producto y el agua se va calentando lentamente. Posteriormente, se produce una gran disminución del contenido de agua manteniéndose la velocidad constante (BC). Esta etapa finaliza cuando se alcanza la llamada humedad crítica (H_c), fácilmente identificable en las curvas de secado por el cambio brusco de la misma. Finalmente, la velocidad empieza a decrecer (CD), pudiendo existir uno o varios periodos de velocidad decreciente (6).

Figura 1.4

Gráfica curva de Secado



GEANKOPLIS, C.J; Procesos de transporte y operaciones unitarias (6).

1.2.3 Estabilidad de Productos Secos

El agua es el elemento que se encuentra en mayor proporción como parte constitutiva en los alimentos, de manera que influye sobre las características de calidad y estabilidad de los mismos. Existen muchos aspectos a considerar, como la interacción entre el agua con los componentes biológicos de los alimentos.

Estos compuestos biológicos son la unión de mezclas complejas de polímeros en forma acuosa; y aquí en el medio acuoso es donde se dan prácticamente la totalidad de las reacciones químicas de deterioro.

En la estabilidad de productos secos, no solo interaccionan la A_w y la humedad, sino que es el resultado de una mezcla de factores. Estos factores pueden afectar la estabilidad, si producen una mayor disponibilidad del agua en el alimento y permiten que se desarrollen las reacciones de deterioro en un menor tiempo en el producto.

Entre los factores que disminuyen la estabilidad del alimento seco son:

- Reacciones enzimáticas y no enzimáticas.

- Cambios físicos y estructurales.
- Alteraciones microbianas
- Lixiviación de nutrientes.
- Pérdida de aroma y gusto.

Cabe recalcar; que estos cambios se llevan a cabo en diferentes A_w . Por ende, es de suma importancia para las características finales del producto, realizar un análisis del proceso y determinar cuáles de los factores influyen en mayor proporción en la estabilidad final del producto.

El objetivo general que persigue este proyecto es, estudiar la influencia de pre-tratamientos aplicados al proceso de secado de banano.

El objetivo específico es, analizar el efecto de pre-tratamientos convencionales como la deshidratación osmótica, uso de antioxidantes y escaldado por inmersión en agua en la cinética de secado, características físico-químicas y estabilidad del producto final. Además, comparar la cinética de deshidratación osmótica del banano entre dos edulcorantes.

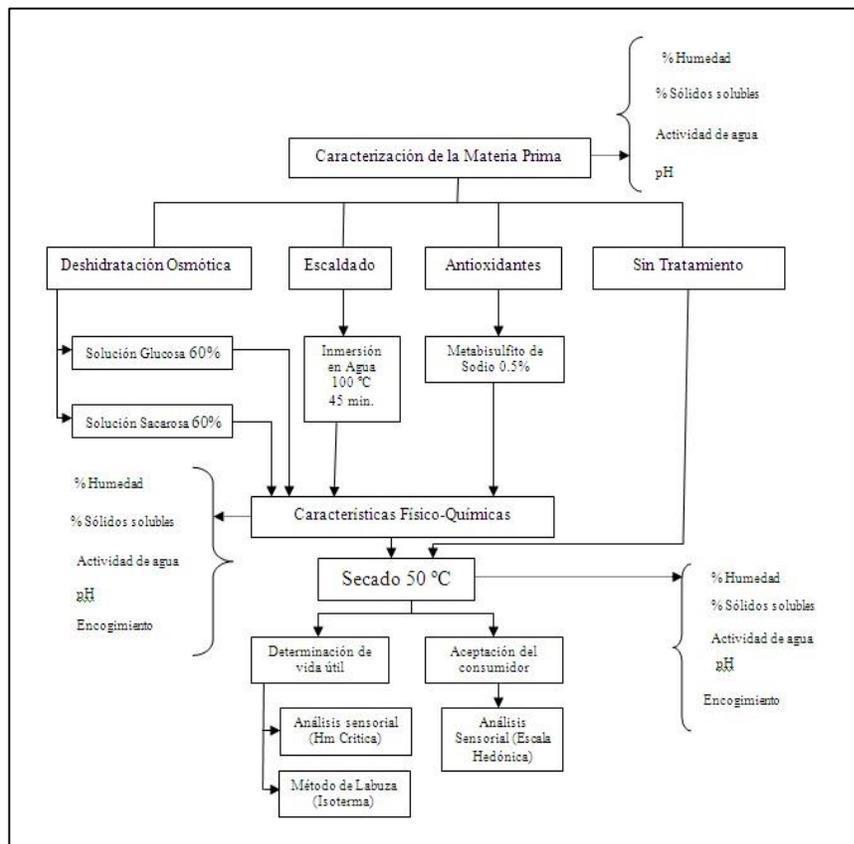
CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La figura 2.1 muestra el esquema de experimentación realizado en el proyecto.

Figura 2.1

Experimentación



Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

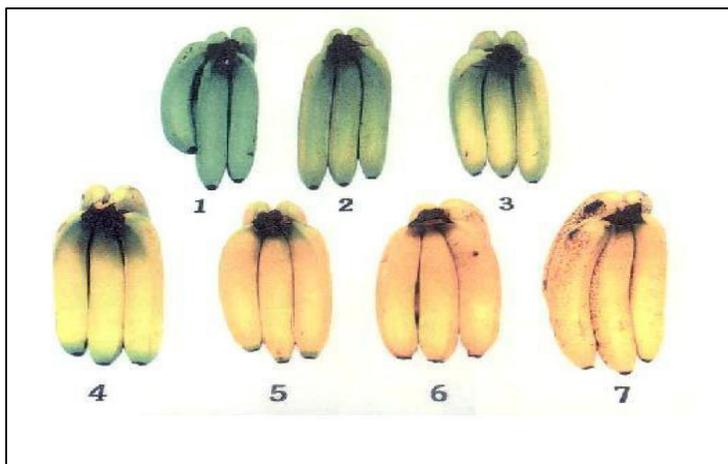
2.1 Caracterización de Materia Prima.

La materia prima seleccionada para el estudio fue banano de la variedad Cavendish, ya que es la variedad más común. La materia prima fue adquirida en la hacienda La Isabela ubicada en el Km. 5 Vía a Naranjito.

Considerando el estudio realizado por Vizuela (2008), el grado de madurez óptimo del banano para ser secado de manera convencional es grado 4. En la figura 2.2 se muestra la coloración de los diferentes estados de madurez del banano.

Figura 2.2

Pantón de Colores para Grado de Madurez del Banano



Pantón para estado de madurez de bananos (Dadzie y Orchard, 1996). (7)

Los bananos seleccionados tenían los extremos verdes y el cuerpo amarillo, midieron 18 +/- 1 cm. de largo y 3 +/- 0.5 cm. de ancho, aproximadamente. Los bananos estaban sanos, libres de magulladuras y pardeamiento.

La tabla 2.1 muestra las características físico-químicas del banano con grado de madurez 4. Las pruebas se realizaron por quintuplicado.

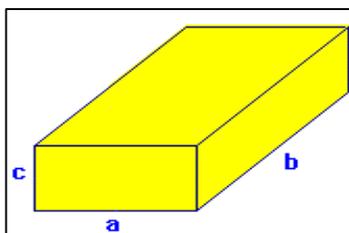
Tabla 2.1

Características físico-químicas de la materia prima

% Humedad	74.38	+/- 4.33
% Sólidos Solubles (°Bx)	21	+/- 6.27
Actividad de Agua	0.977	+/- 0.0057
pH	5.33	+/- 0.544

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Para realizar las pruebas, la muestra se cortó en forma de un ortoedro como se muestra en la Figura 2.3. En la tabla 2.2 se muestran las medidas utilizadas.

Figura 2.3**Dimensión de la Muestra**

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Tabla 2.2**Dimensiones del Banano**

Dimensiones	Nomenclatura	Medida (cm)
Espesor	a	2
Largo	b	3
Altura	c	1

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

2.2 Diseño de Experimento**Experimentación**

Los experimentos fueron realizados en los laboratorios de bromatología, investigación y desarrollo y operaciones unitarias de

la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Análisis Estadístico

Para la elaboración del diseño experimental y el análisis de los datos obtenidos, se empleo el software para análisis estadístico Minitab. El modelo empleado que se ajustó a la experimentación, fue un diseño de un solo factor completamente aleatorizado y para el análisis se empleo la herramienta Anova de un solo factor.

Los niveles del factor fueron 5, lo cual corresponde al número de los tratamientos al que fueron sometidas las muestras de forma individual previo al secado convencional. Las variables de respuestas utilizadas fueron:

- Vida útil
- Humedad crítica
- Encogimiento
- Coeficientes de difusividad en periodo constante y en periodo decreciente.

En total fueron 5 los experimentos que se llevaron a cabo, en los cuales se mantuvo constante los niveles del factor, modificando

únicamente la variable de respuesta según sea el caso. El nivel de significancia seleccionado para todas las pruebas fue del 95% ($p=0,05$).

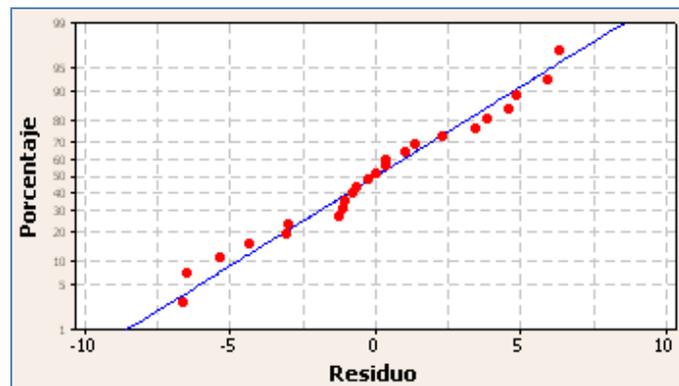
Una vez realizado el diseño experimental se analizan los valores p y R de la tabla de análisis de varianza.

Si el p obtenido es menor o igual que el p seleccionado, se concluye que las medias de uno o más pre-tratamientos son significativamente diferentes y que existe influencia significativa del pre-tratamiento sobre la variable de respuesta. Caso contrario, se afirma que no existe influencia alguna de los pre-tratamientos sobre la variable de respuesta. Por otro lado los valores R , indican la precisión con la que el modelo se ajusta a los datos. Se comprobó que el modelo cumpliera los supuestos de normalidad del error, homogeneidad de la varianza e independencia del error para la validación del mismo. Para una mejor interpretación de los resultados, se obtienen graficas de residuos cuatro en uno, de cajas de datos y de valores individuales.

Para comprobar la normalidad del error, se observa en la gráfica de probabilidad normal (Fig. 2.4), que los residuos del análisis estén distribuidos de tal forma que sigan aproximadamente una

línea recta, lo cual es índice de normalidad, caso contrario, una línea no recta indica no normalidad.

Figura 2.4
Probabilidad de residuo



Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Para comprobar el supuesto de homogeneidad de la varianza, se obtienen los rangos de cada pre-tratamiento. Para esto, se resta el valor mayor del valor menor de cada pre tratamiento. Luego se obtiene un rango promedio y se multiplica por el valor D_4 obtenido de las cartas de control para la media y rango (Fig. 2.4). Todos los valores de los rangos parciales deben estar por debajo de este valor ($\text{Rango promedio} \cdot D_4$).

Para comprobar el supuesto de la independencia del error, se obtienen los residuos de cada experimento, se calcula el valor de Durbin y Watson (Ec.1); si el valor obtenido es mayor a 1.7 se soporta la suposición de independencia del error.

Ecuación de Durbin - Watson

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Una vez validado el modelo se realizaron comparaciones múltiples entre los pre-tratamientos utilizando 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.

2.3 Análisis Físico-Químico

La tabla 2.3 muestra los análisis físico-químicos realizados en la experimentación con su respectiva codificación según la AOAC (8).

Tabla 2.3**Análisis Físico-Químicos**

Análisis	AOAC	Equipo
Humedad	22.021	Termo-balanza
°Brix	31.009	Refractómetro
Aw	32.005	Medidor de Aw (Fig.2.5)
pH	33.007	Potenciómetro
Encogimiento		Escala en cm.

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009

Figura 2.5

Equipo de Medición de Actividad de Agua Aqua Lab



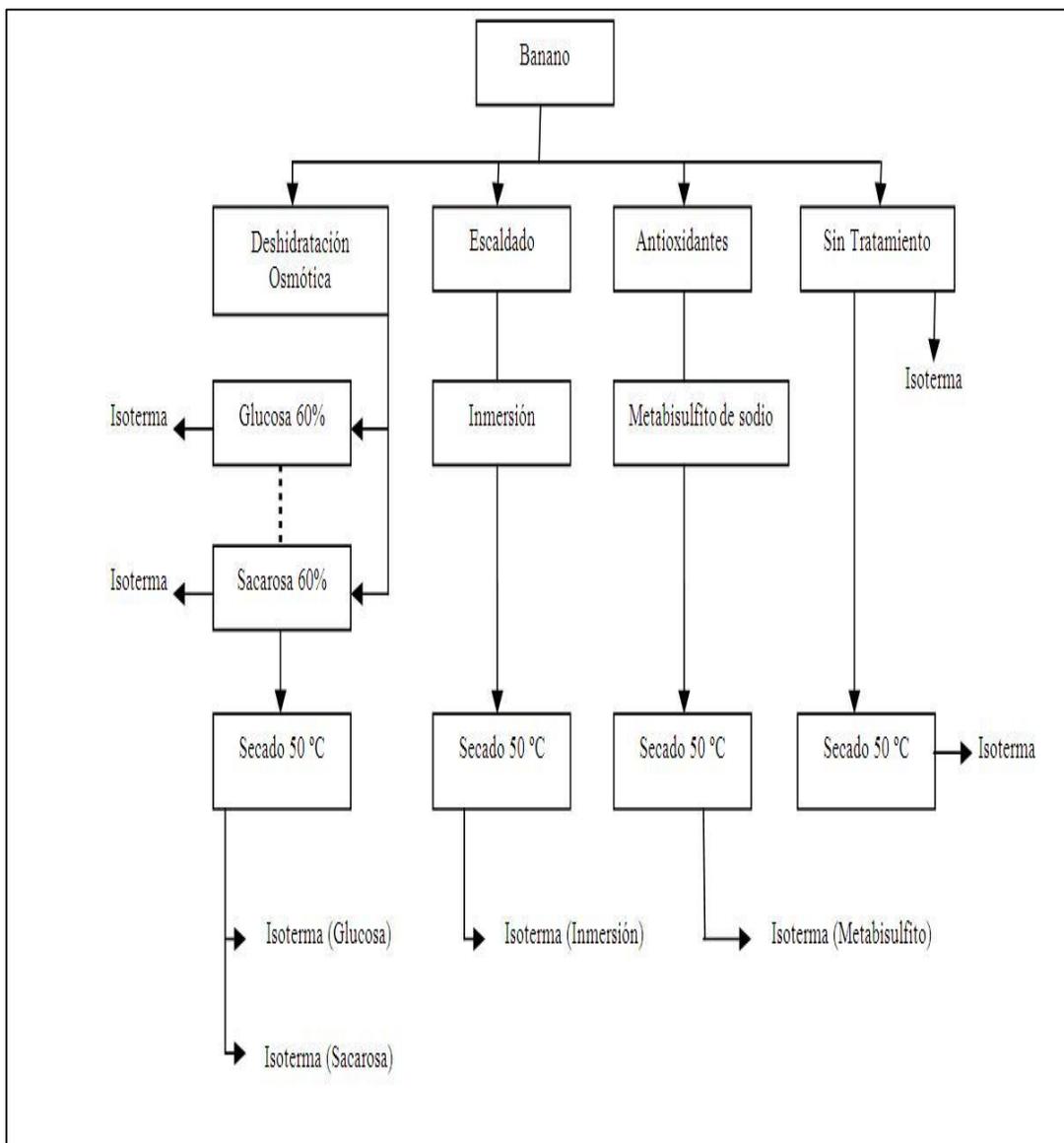
Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

2.4 Determinación de Isotermas de Absorción

La figura 2.6 muestra los puntos en los cuales se realizaron las isotermas de sorción.

Para lograr la desorción de las muestras, se colocó en un desecador, utilizando sílica gel como agente deshidratante. La figura 2.7 muestra el sistema utilizado. Las muestras fueron extraídas cada cierto tiempo, con el fin de determinar actividad de agua y humedad. La temperatura fue 25 ± 1 °C. Para el ajuste de las isotermas se utilizó el programa Water Analyzer de Webtech, donde se tabularon los datos de actividades de agua con sus humedades en base seca correspondientes. El programa elaboró las gráficas de las isotermas utilizando las ecuaciones de Guggenheim Anderson de Boer (GAB).

Figura 2.6
Esquema de Isothermas



Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Figura 2.7**Sistema para obtención de Isotermas de Desorción**

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

2.5 Metodología del Proceso de Deshidratación Osmótica

En la deshidratación osmótica de la fruta, se usó como agente osmótico soluciones de glucosa al 60% y sacarosa al 60% (9), (10). La muestra fue sumergida en el jarabe. La relación jarabe:fruta fue 4:1 respectivamente (11). Posteriormente, se procedió a realizar los siguientes análisis físico-químicos a la muestra:

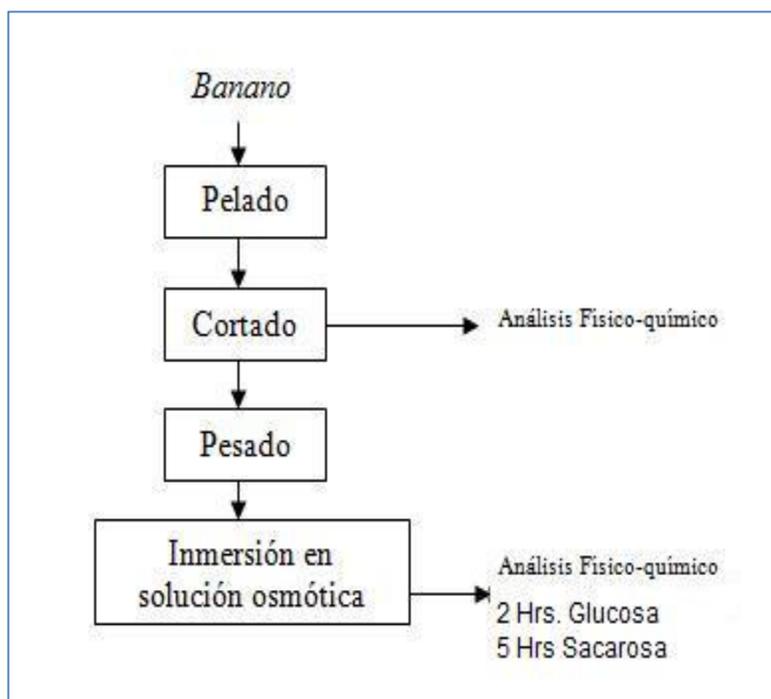
- Peso
- Porcentaje de sólidos solubles
- Porcentaje de humedad

La frecuencia de las mediciones de estos parámetros son cada cinco minutos hasta llegar a los treinta minutos, cada treinta minutos hasta llegar a las dos horas y cada hora hasta llegar a las

cinco horas, respectivamente (11). Esto tiene como fin determinar el tiempo necesario de deshidratación osmótica para que las muestras reduzcan su peso en un 50 % (12). Una vez removida la muestra para los análisis físico-químicos, se debe secar con papel toalla para evitar que el jarabe en la superficie influya en los análisis. La figura 2.8 muestra el esquema de la deshidratación osmótica.

Figura 2.8

Esquema de Deshidratación Osmótica



Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Se determinó la cinética de deshidratación osmótica utilizando las siguientes formulas (Ec. 2), (Ec. 3) y (Ec. 4) (6):

Ganancia de Sólidos

Es el coeficiente que indica la capacidad del soluto en penetrar la fruta.

$$\Delta M_s = \frac{M_t X_{st} - M_0 X_{s0}}{M_0}$$

(Ec. 2)

Donde

ΔM_s	Ganancia de Sólidos (g sólidos/ g fruta).
M_t	Masa de muestra deshidratada osmóticamente al tiempo t (g).
X_{st}	Sólidos solubles en la muestra deshidratada osmóticamente al tiempo t ($^{\circ}$ Brix).
M_o	Masa inicial de la fruta.
X_{so}	Sólidos solubles iniciales en las frutas ($^{\circ}$ Brix).

Pérdida de Agua

Es el coeficiente que indica la capacidad de deshidratarse que tiene la fruta.

$$\Delta M_w = \frac{M_0 X_{w0} - M_t X_{wt}}{M_0}$$

(Ec. 3)

Donde

ΔM_w Pérdida de agua (g de H₂O/ g de fruta).

M_0 Masa inicial de la fruta.

X_{w0} Humedad Inicial de la fruta (g de H₂O/ g de muestra humedad).

M_t Masa de muestra deshidratada osmóticamente al tiempo t (g).

X_{wt} Humedad fruta deshidratada osmóticamente al tiempo t (g H₂O/g muestra).

Pérdida de Peso

Es el coeficiente que indica cuando la muestra deshidratada va perdiendo su peso en relación a 1 como peso inicial.

$$\Delta M = \frac{M_o - M_t}{M_o}$$

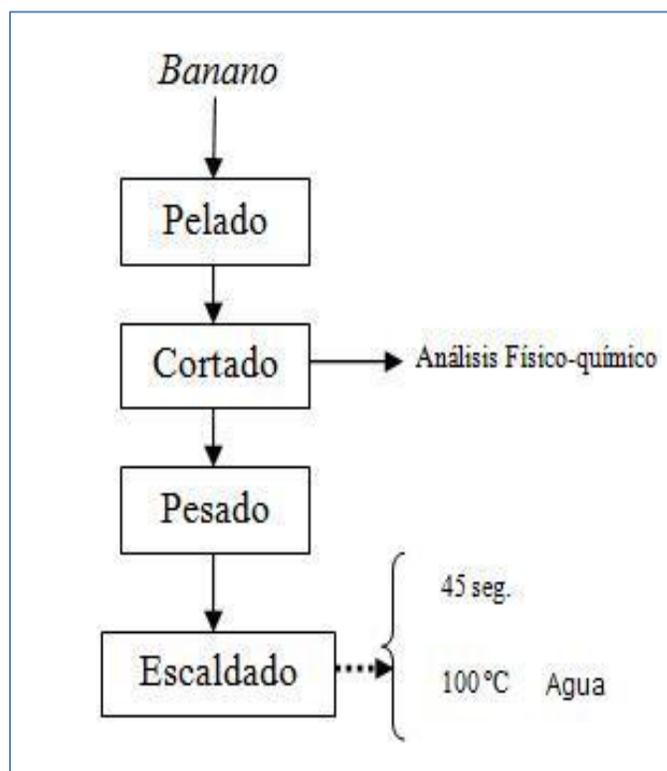
(Ec. 4)

Donde

ΔM	Pérdida de peso
M_o	Masa inicial de la muestra (g).
M_t	Masa de la muestra deshidratada.

2.6 Metodología del Escaldado

El escaldado se realizó por inmersión en agua a 100 +/- 5 °C. Se determinó el tiempo óptimo de escaldado mediante el Test de la Peroxidasa con Guayacol, el cual fue de 45 segundos. La figura 2.9 muestra el esquema del escaldado.

Figura 2.9**Esquema del Escaldado**

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

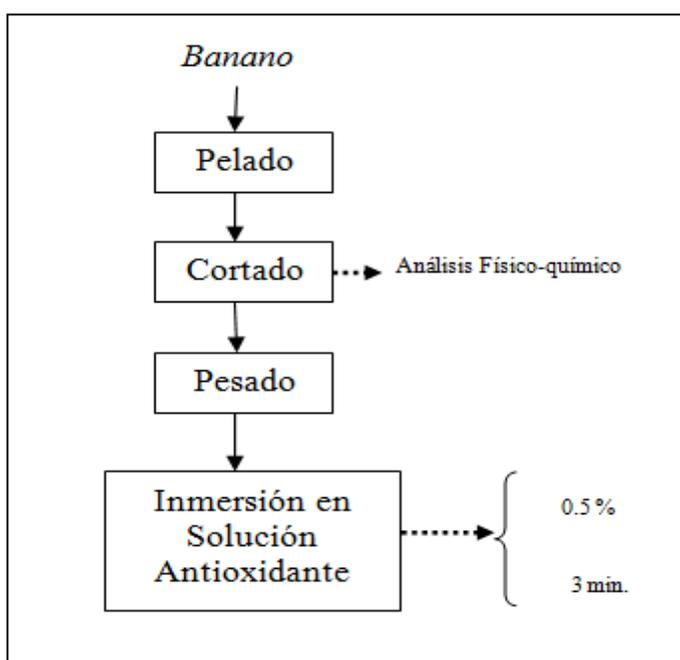
2.7 Metodología de la Adición de ácidos orgánicos

Considerando el estudio realizado por Chávez y Avanza (2006), la concentración adecuada del antioxidante es de 0,5% (13). Las muestras se sumergieron en una solución antioxidante de

metabisulfito de sodio por tres minutos. Al salir de la solución, las muestras fueron escurridas y secadas con papel toalla. La figura 2.10 muestra el esquema de la inmersión en antioxidantes.

Figura 2.10

Esquema de Inmersión en antioxidantes



Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

2.8 Metodología del Proceso de Secado

El proceso fue realizado en un secador de bandeja con aire caliente a 50 +/- 2 °C, hasta obtener peso constante. La humedad relativa del ambiente fue de 64% +/- 2. Las muestras fueron pesadas cada cinco

minutos hasta llegar a los treinta minutos, cada treinta minutos hasta llegar a las dos horas y cada hora hasta llegar a peso constante (14). Los análisis físico-químicos que se realizaron a la muestra antes, durante y después del proceso fueron porcentaje de sólidos solubles, porcentaje de humedad y actividad de agua. Las pruebas fueron realizadas por quintuplicado. La tabla 2.4 muestra las características del secador de bandejas.

Tabla 2.4
Características del Secador de Bandejas

Modelo N°-	Prototipo
Hertz	60
Voltios	220
Watts	5600
Amperios	25.5
Fase	Simple

Elaborado por: Israel Andrade L. y Paul Castro I. 2009.

Las fórmulas utilizadas para los cálculos de secado se muestran a continuación (Ec. 5), (Ec. 6), (Ec. 7) (6):

Humedad en base seca (Xt)

Son los gramos de agua por cada gramo de solido seco.

$$X_t = (X - W_s) / W_s$$

(Ec. 5)

Donde

X Peso de la muestra en cada tiempo.

Ws Peso inicial de la muestra * Contenido de sólidos de la misma (valor constante).

Humedad de agua libre (X)

Es la cantidad de agua libre que se remueve durante el secado hasta alcanzar el equilibrio.

$$X = X_t - X^*$$

(Ec. 6)

Donde

X* Humedad de equilibrio de la isoterma de sorción de la muestra seca.

Velocidad de secado (R)

Es la cantidad de agua removida por cada unidad de tiempo por área de muestra.

$$R = -(W_s/A)(dX_{\text{prom}}/dT)$$

(Ec. 7)

Donde

A Área de la figura geométrica de la muestra; $A = 2ab + 2bc + 2cd$ (Fig. 2.3), (Tabla 2.2).

dX Diferencial de humedad promedio entre dos puntos inmediatos.

dT Diferencial de tiempo entre dos tiempos inmediatos.

Finalmente con los datos obtenidos se elaboraron las gráficas Humedad Vs. Tiempo (X Vs. T) y Velocidad de secado (R Vs. X).

2.9 Determinación de Estabilidad de Productos Secos.

Se determinó la estabilidad a las muestras secadas con sus respectivos pre-tratamientos, utilizando el método de Labuza para el cálculo de tiempo de vida útil. El primer paso fué determinar la humedad crítica del banano seco. Este procedimiento se basó en colocar las muestras en baño de María y removidas acorde al tiempo establecido, determinándose su humedad y realizándole un análisis sensorial, mediante una escala hedónica de cinco puntos con seis jueces entrenados. Esta evaluación se realizó hasta que las características organolépticas de la muestra (textura y apariencia) ya no sean aceptables para cada juez según su criterio. Los datos fueron tabulados y analizados estadísticamente con un 95% de confiabilidad. Finalmente, se determinó la humedad de la muestra hidratada durante la prueba, siendo ésta la humedad crítica.

Para realizar los cálculos se determinó la densidad de la muestra, para así obtener el área del empaque y la masa de producto que

estará contenido en éste. Se utilizó una relación producto/empaque del 95%. Con los datos obtenidos y datos de las isothermas se calculó la humedad inicial y la humedad de equilibrio con el medio ambiente. Todos estos valores se calcularon usando la ecuación de Labuza (Ec 8) y (Ec. 9).

Ecuación de Labuza

$$\Theta_c = \frac{Ln \tau c}{(k/x) * (A/W_s) * (P_o/b)}$$

(Ec. 8)

Donde

$Ln \tau$	Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque, (Ec. 9)
k/x	Permeabilidad máxima del alimento en gH ₂ O / día m ² mm Hg.
W_s	Peso del sólido seco en gramos.
P_o	Presión de vapor de agua a la temperatura T (mm Hg).
b	Pendiente de la Isotherma (tangente entre la Humedad crítica e inicial).

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

(Ec. 9)

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Determinación de parámetros de los procesos para los pre-tratamientos elegidos

3.1.1 Cinética de Deshidratación Osmótica.

En este trabajo, se estudió la cinética de deshidratación osmótica a presión atmosférica y a temperatura constante de 27 °C. Se analizó el comportamiento del banano con diferentes soluciones osmóticas, como se indicó en el capítulo anterior, con el fin de obtener el tiempo necesario para que el producto pierda el 50% de su peso, según estudios de Ponting, et al (15). Para la cinética de deshidratación osmótica se trabajó con réplicas, y se determinó, que con glucosa, la deshidratación tiene menor tiempo que con sacarosa. El tiempo para la reducción del

50% de peso con glucosa y sacarosa fueron de 120 y 300 minutos, respectivamente.

Los factores que influyen principalmente en la transferencia de masa son: agente osmótico y el peso molecular.

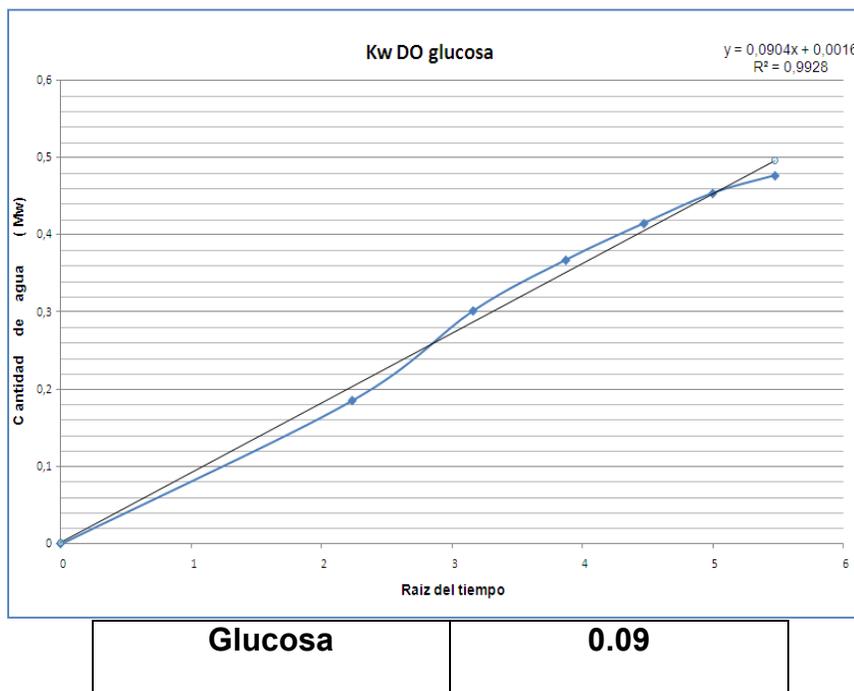
En las figuras 3.1 y 3.2 se muestra la tendencia de la difusión del agua en la deshidratación osmótica y el valor de K_w , en glucosa y sacarosa, respectivamente. En las figuras 3.3 y 3.4 se muestra la tendencia de la difusión de sólidos en la deshidratación y el valor de K_s en glucosa y sacarosa, respectivamente.

Comparando los coeficientes de difusión de sólidos (K_s) entre glucosa y sacarosa, se observa que el de sacarosa es mayor, aumentando el tiempo de deshidratación. Considerando que el agua se difunde en sentido contrario que los sólidos, los cuales por su tamaño penetran lentamente, produce que el agua salga también más lento hasta que la muestra pierda el 50% de su peso. Además, después de la primera hora, donde ocurre la mayor pérdida de agua, la difusión se hace lenta porque los poros de la fruta se cierran y se forma una capa superficial que dificulta

la salida del agua. Por lo contrario, la glucosa se difundió más fácilmente en la fruta por tener menor tamaño, y la salida del agua se hace más rápidamente.

Comparando las dos deshidrataciones, la más conveniente para el fin de este proyecto es la de glucosa debido a que tiene un K_s menor, que quiere decir que, entra menos sólidos, mientras el agua sale en menor tiempo.

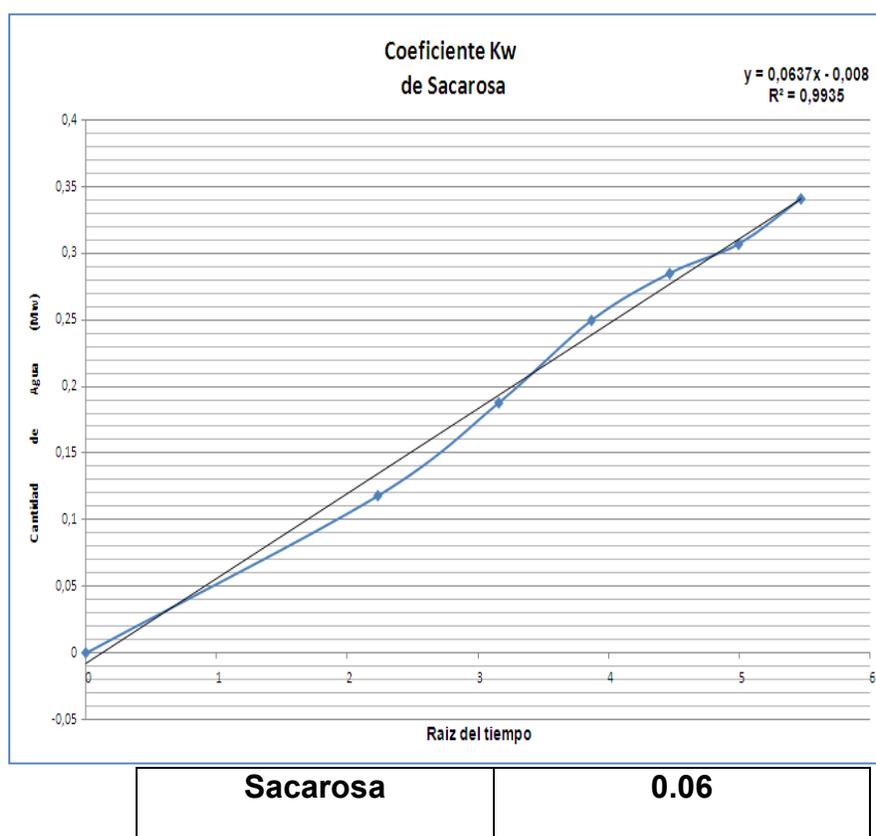
Figura 3.1
Coefficiente de difusión agua en glucosa



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.2

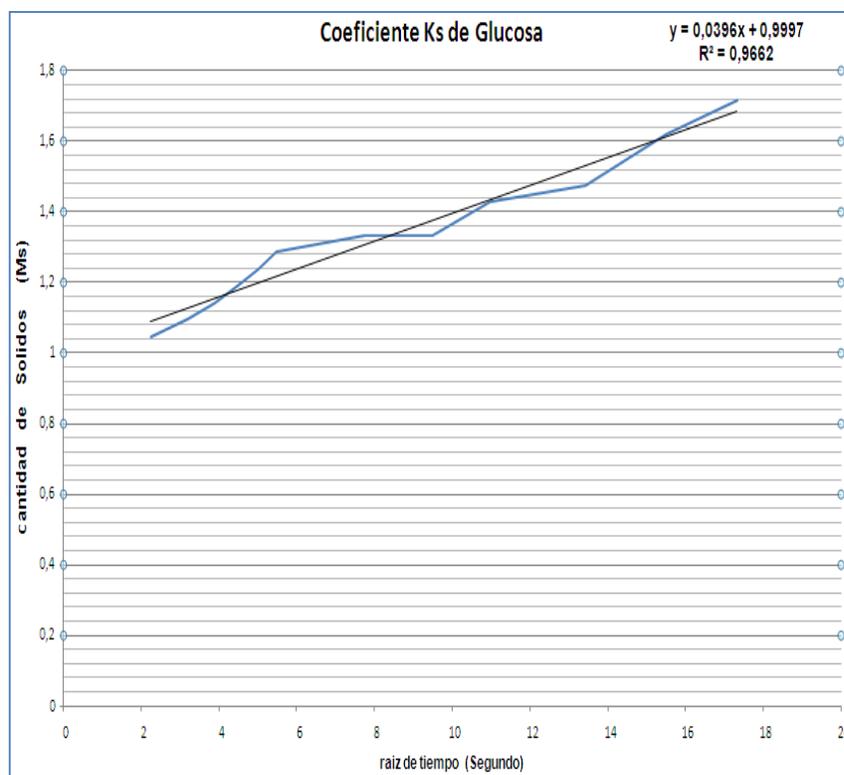
Coeficiente de difusión del agua en sacarosa



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.3

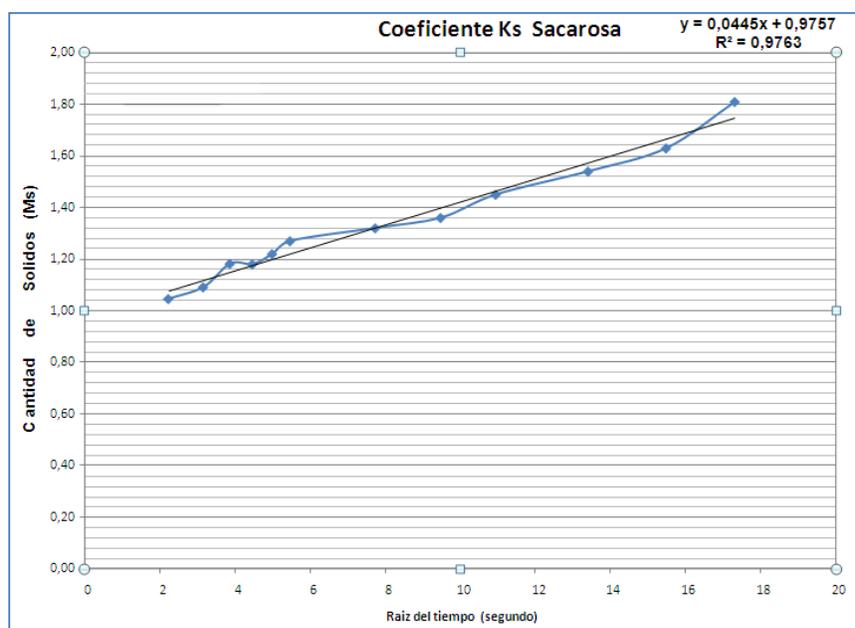
Coeficiente de difusión de sólidos en glucosa

**Glucosa****0.039**

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.4

Coeficiente de difusión de sólidos en sacarosa

**Sacarosa****0.045**

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

3.2 Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua del banano deshidratado.

Con la finalidad de analizar el comportamiento del banano frente a la actividad de agua con los diferentes pre-tratamientos para este estudio, se elaboraron las isoterms de sorción, tanto para la muestra sin tratamiento, y las que tuvieron pre-tratamientos. Cabe recalcar, que el valor de la monocapa es el contenido de humedad que forma la primera capa de agua en contacto con las moléculas de la estructura del alimento. Por lo tanto, este valor presenta una íntima relación con la estabilidad del producto, sabiendo que, mientras mayor es el contenido de la monocapa, mayor es la estabilidad. El banano seco sin tratamiento (Fig. 3.5), tiene la mayor monocapa ya que su estructura no ha sido modificada por ningún tratamiento. La cantidad de almidón del banano tiene que ver de manera directa en el secado. Un banano con grado de maduración 4 (más amarillo que verde), tiene un porcentaje de almidón de 13% y de azúcar de aproximadamente 7.5% (16). En bananos con grados de madurez bajos, los cuales son ricos en almidón, tienen uniones más fuertes

debido a la capacidad del almidón de retener fuertemente las moléculas de agua a su estructura cristalina. La facilidad de remoción del agua depende de cómo este ligada el agua al alimento más que el contenido de ésta en el mismo (3). Comparando la monocapa del banano seco sin pre-tratamiento con la del banano con metabisulfito (Fig. 3.6), tienen un valor muy cercano, ya que el metabisulfito no cambia la estructura del alimento; éste solo ingresa al alimento ligando el agua con enlaces débiles, haciendo más fácil de remover, pero sin modificar la micro estructura del alimento. La competencia por el agua entre el almidón y el metabisulfito no es significativa, debido a que el almidón liga fuertemente el agua, mientras que el metabisulfito liga el agua con enlaces más débiles y ésta es más fácil de remover, pero la cantidad de metabisulfito es relativamente insignificante. Entre las muestras previamente deshidratadas al secado, el valor de la monocapa de glucosa (Fig. 3.7), es mayor que la de sacarosa (Fig. 3.8). Esto es porque la glucosa es más pequeña y entra más fácilmente a la fruta y liga más fuertemente el agua que la sacarosa. El agua ligada a la glucosa es más difícil de remover. Finalmente, la muestra previamente escaldada al secado (Fig. 3.9), tiene el menor valor de monocapa, debido a que la temperatura de

escaldado afecta la estructura del banano. Algunos estudios han demostrado que los almidones gelificados se encuentran en estado amorfo, produciendo que el agua este menos ligada a la estructura (17), (18), (19), (20), (21). También, la temperatura de escaldado daña la estructura de las células de la fruta, lo que facilita la pérdida de agua. En la tabla 3.1 se muestran los valores de las monocapas de las diferentes muestras secadas.

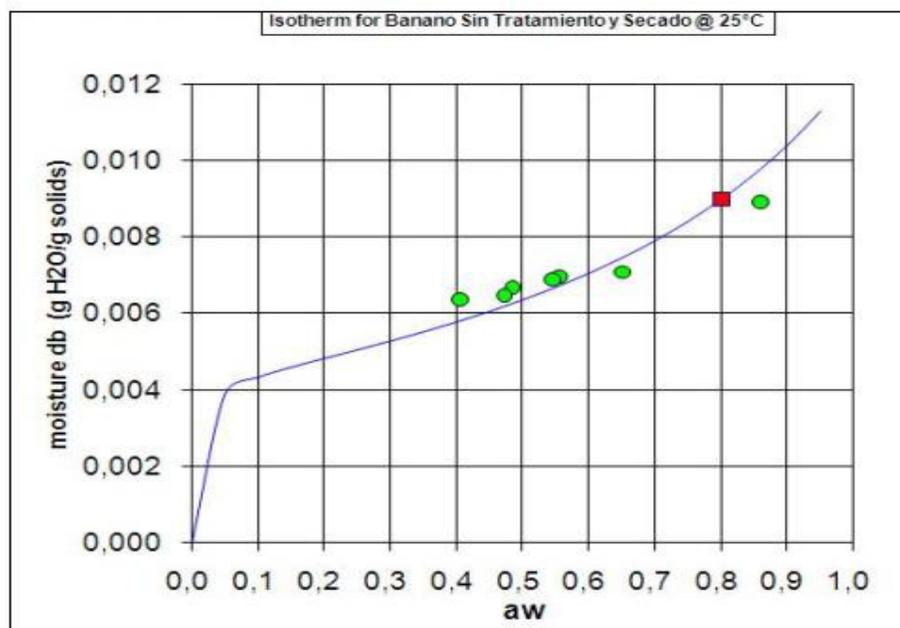
Tabla 3.1
Valores de las monocapas de las isoterms de las
muestras secadas

PRE-TRATAMIENTO	CONTENIDO HUMEDAD DE LA MONOCAPA (g H₂O/100 g ss.)
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

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.5

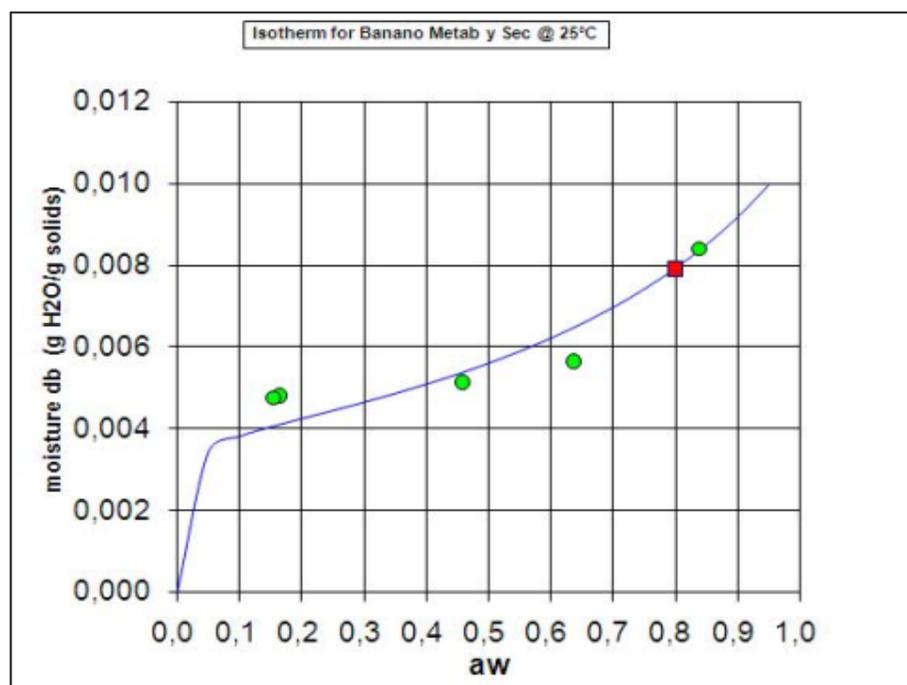
Isoterma de Secado sin Pre-Tratamiento



VALOR MONOCAPA	0,43
R ²	0,6432

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.6
Isoterma de metabisulfito y Secado

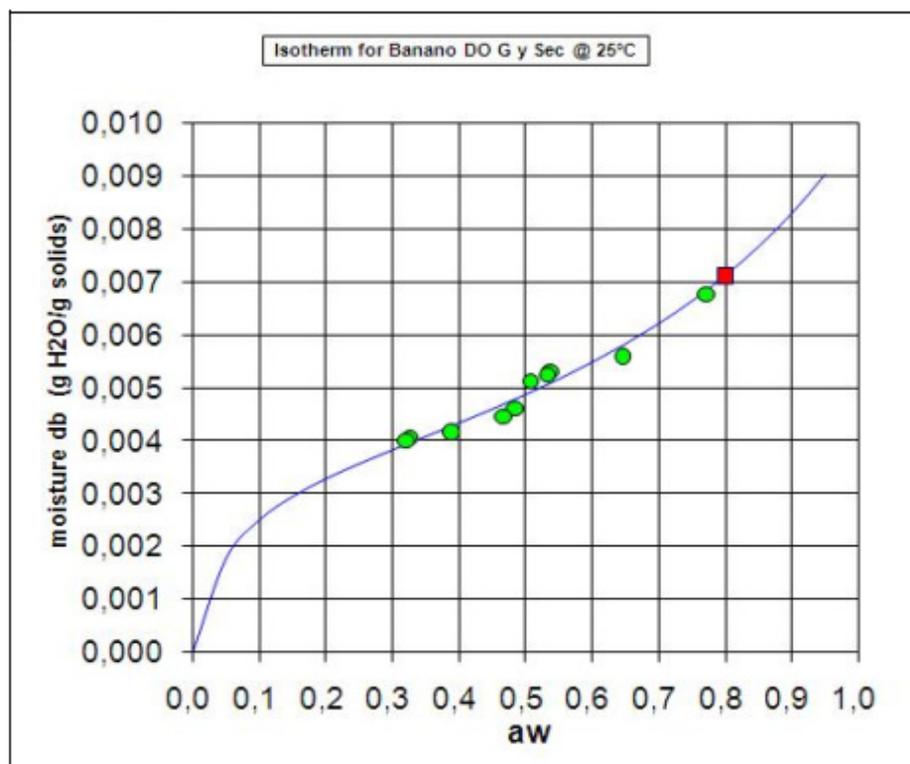


VALOR MONOCAPA	0,38
R ²	0,8123

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.7

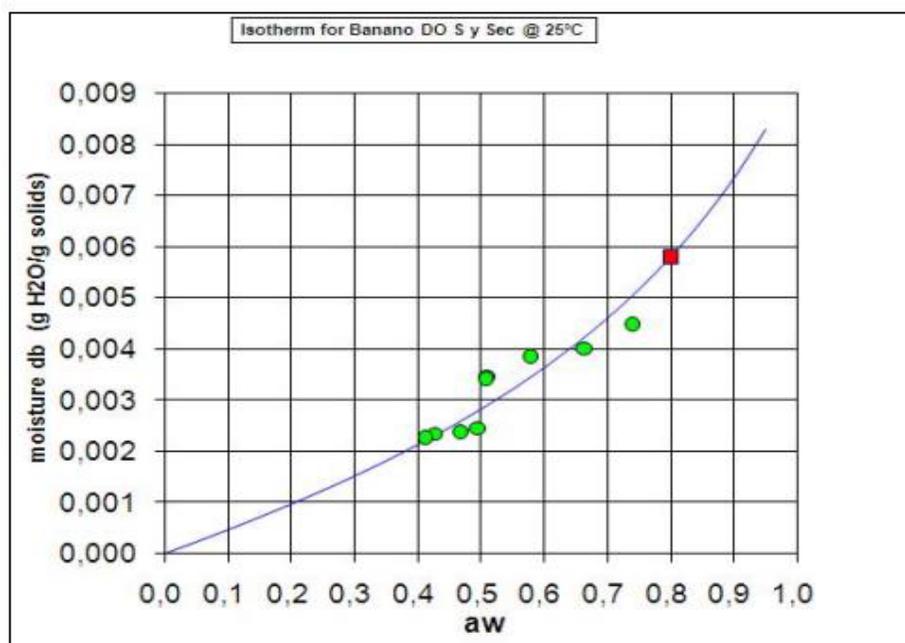
Isoterma D.O. Glucosa de banano y secado



VALOR MONOCAPA	0,35
R ²	0,9573

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

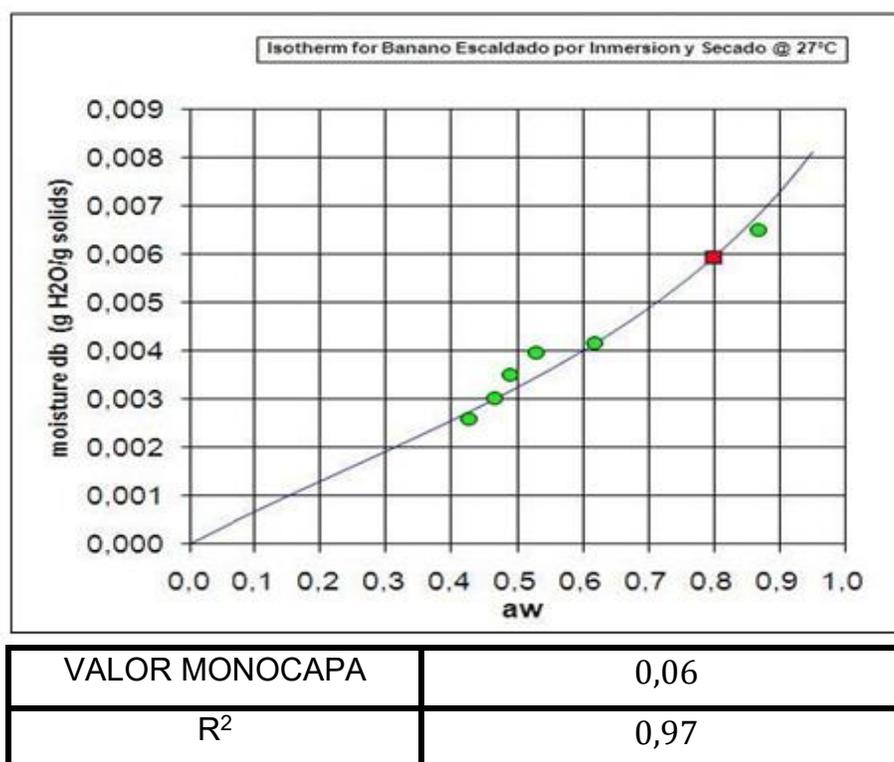
Figura 3.8
Isoterma de D. O. Sacarosa y Secado



VALOR MONOCAPA	0,25
R ²	0,77

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.9
Isoterma de Banano Escaldado y Secado



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Analizando los valores obtenidos, se puede ver que no existe una diferencia significativa de la influencia que ejercieron los pre-tratamientos aplicados al banano.

3.3 Efecto de los pre-tratamientos en la cinética de secado de banano.

3.3.1 Curvas de Secado.

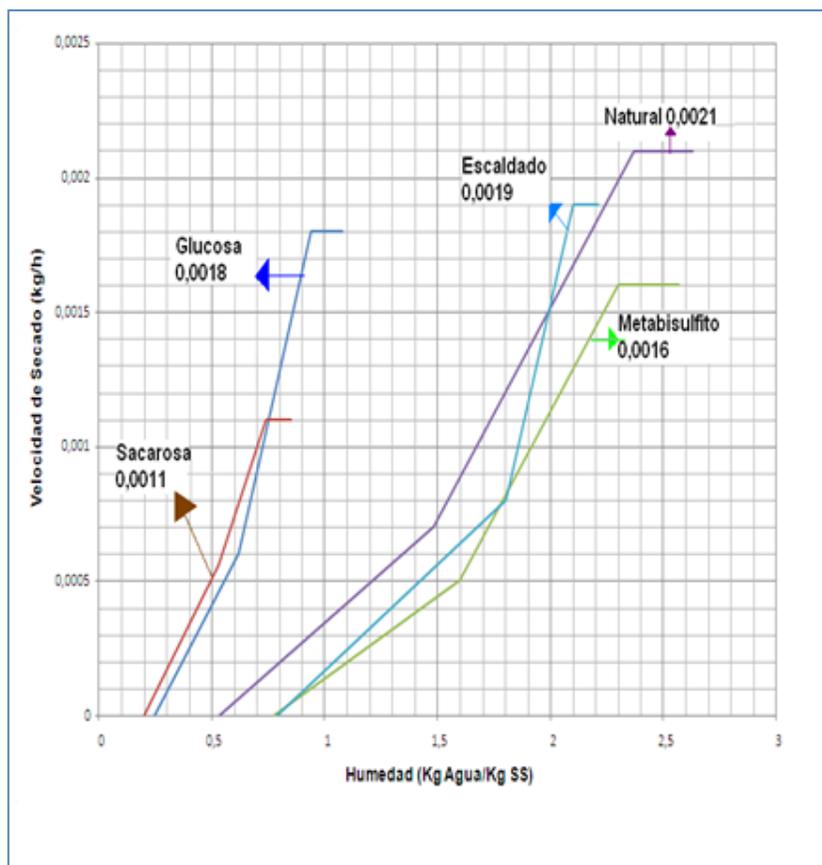
Con el objetivo de saber la influencia de los pre-tratamientos escogidos para la experimentación, previo al secado de banano, se estableció el estudio de la velocidad de secado para todas las muestras, realizando curvas de secado en función de humedad libre. Conociendo que, el contenido de humedad libre se puede eliminar fácilmente en el secado, ya que es el agua que se encuentra disponible, al secar muestras que han sido sometidas a deshidratación osmótica, habrá menos agua libre, ya que hubo una eliminación parcial del contenido de agua del alimento, mientras que en las muestras sin pre-tratamiento, no existe eliminación parcial del agua.

Otro punto a considerar, es la composición química del banano en el estado de madurez 4, como se mencionó

anteriormente, este posee gran cantidad de agua ligada por la presencia mayoritaria de almidón, produciendo que el agua sea más difícil de remover. La figura 3.10 muestra las curvas de velocidad de cada uno de los secados.

Figura 3.10

Curvas de Velocidades de Secado de Banano con diferentes Pre-Tratamientos



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

La tabla 3.2 muestra la velocidad de secado en orden decreciente de las diferentes muestras. Se puede observar que los valores de velocidades de secado, son muy aproximados, incluso, entre el secado sin tratamiento y el secado previamente deshidratado en glucosa, no existe mayor diferencia. El banano escaldado, presenta una mayor velocidad de secado; esto se debe a que el escaldado produce una gelatinización del almidón debido a la temperatura del proceso. Este resultado concuerda con el valor de la monocapa obtenida. Por lo tanto, queda demostrada la disminución de la cristalización del almidón, produciendo una unión más débil entre el agua y la estructura del alimento por la temperatura del escaldado. Por otro lado, la muestra sometida a la acción de metabisulfito tiene una velocidad muy aproximada a la sin tratamiento. Igual que en la conclusión anterior, esto es porque el metabisulfito liga de manera débil y despreciable al agua comparada con el almidón de la fruta y la muestra tuvo un comportamiento similar a la muestra secada sin tratamiento.

Finalmente, está la velocidad de secado de la muestra deshidratada osmóticamente en sacarosa. Este resultado es porque al salir de la deshidratación osmótica, se produce un encogimiento; esto hace que los poros se hagan más pequeños y tenga una menor velocidad de secado. Esto se debe además, porque la deshidratación osmótica en sacarosa demoró más tiempo; la entrada de los sólidos fue más difícil y los poros se cerraron más que la de glucosa y por consiguiente la velocidad fue menor.

Tabla 3.2

Velocidades de Secado (g/min)

Sin tratamiento	0.0021
Escaldado	0.0019
D.O. Glucosa	0.0018
Metabisulfito	0.0016
D.O. Sacarosa	0.0011

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

3.3.2 Cálculos de coeficientes de difusión aplicando la ley de Fick

A partir de la Ley de Fick, es posible obtener modelos semi-empíricos para determinar el coeficiente de difusión efectivo (D_{ef}) en geometría de placa plana infinita y con diversas condiciones de contorno y de operación. Partiendo, que el coeficiente de difusividad nos muestra la velocidad con la que el agua sale del alimento en el proceso de secado. Mientras mayor sea el valor del coeficiente, mayor va a ser la evaporación del agua al medio circundante. Pero la migración del agua no se da uniformemente. Se tiene que evaluar la difusividad en dos etapas plenamente marcadas:

- Etapa de periodo constante
- Etapa de periodo decreciente.

En la tabla 3.3 se muestra las difusividades promedio en la etapa de periodo constante de las muestras durante el secado. Analizando estadísticamente, se evidenció que,

solamente la muestra sometida a deshidratación osmótica en sacarosa, escaldada y sumergida en metabisulfito, tienen diferencias significativas. Este resultado demuestra nuevamente el efecto del escaldado en la gelatinización del almidón, lo que produce una debilidad de los enlaces con el agua, haciendo que la migración de esta sea mayor. Así mismo, nuevamente se comprueba el efecto de la deshidratación osmótica en sacarosa, que produce que los poros se cierren y dificulte la migración del agua. Debido a que el valor p es igual a 0.002 y es menor al p de referencia, se concluye que hay suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis de que los pre-tratamientos afectan a la difusividad en el periodo constante (Apéndice D).

En la figura 3.11 se muestra el diagrama de bloques que presentan las diferencias significativas entre las difusividades en el periodo constante.

Tabla 3.3

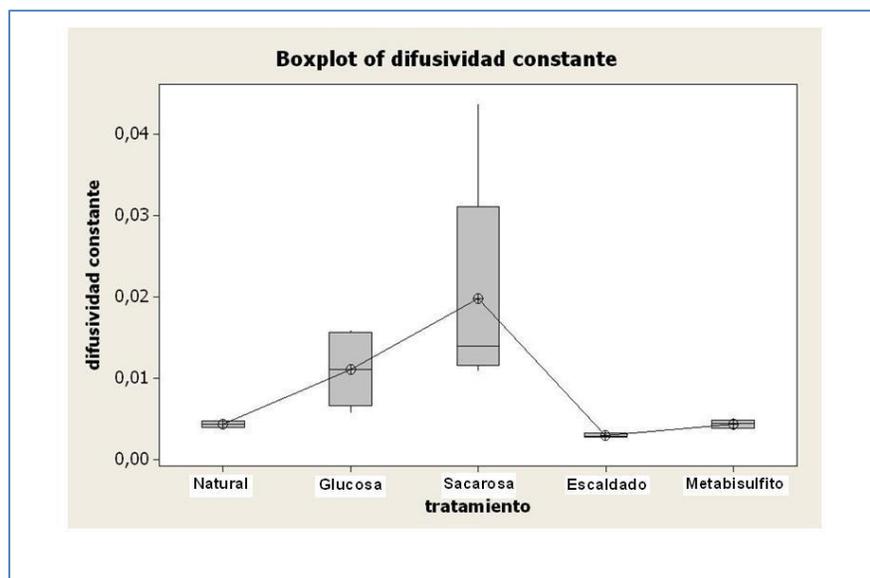
Difusividad en el Periodo Constante

	Periodo Constante(m/s²)
Glucosa	0,005 +/- 0,0004
Natural	0,011 +/- 0,0045
Escaldado	0,019 +/- 0,0136
sacarosa	0,003 +/- 0,0003
Metabisulfito	0,004 +/- 0,0005

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Figura 3.11

Diferencias significativas en difusividades en periodo constante



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

En la tabla 3.4 se muestra las difusividades promedio en la etapa de periodo decreciente de las muestras durante el secado. Analizando estadísticamente, se evidenció que existe diferencia significativa entre las muestras secas sin pre-tratamiento y deshidratada en sacarosa. La muestra deshidratada en glucosa tiene además diferencia significativa con sacarosa, escaldado y metabisulfito. Se evidencia claramente que en estas muestras el comportamiento del secado fue afectado por los pre-tratamientos. Finalmente, entre escaldado y metabisulfito no existen diferencias significativas.

Tabla 3.4

Difusividad en el periodo decreciente y desviación estándar

	Período Decreciente(m/s²)
Glucosa	0,0031 +/- 0,0002
Natural	0,0110 +/- 0,0026
Escaldado	0,0201 +/- 0,0080
Metabisulfito	0,0031 +/- 0,0007
Sacarosa	0,0030 +/-0,0002

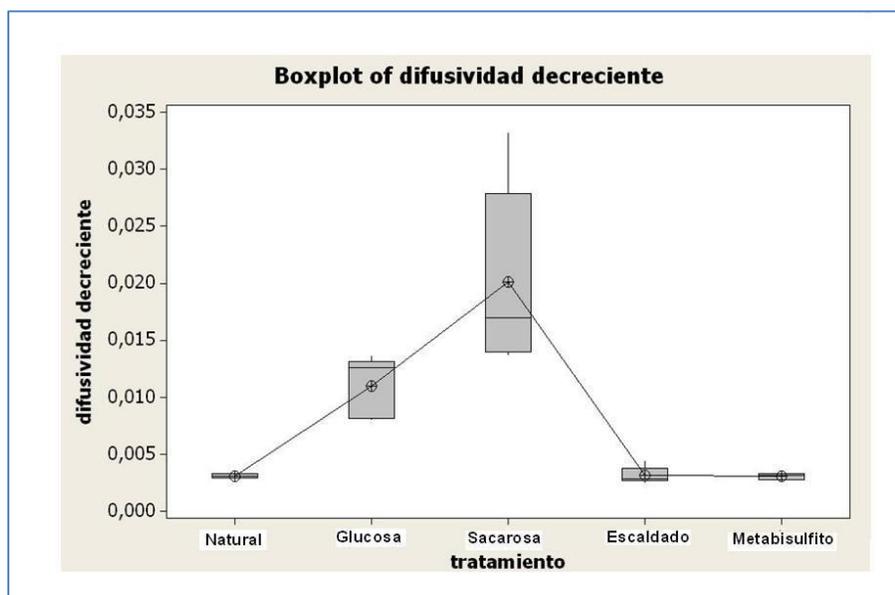
Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

En la figura 3.12 se presenta el diagrama de bloques que muestra las diferencias significativas entre las difusividades en el periodo decreciente.

Dado que el valor p es menor al p de referencia (0.005), existe suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis de que los pre-tratamientos afectan la Difusividad en el periodo decreciente (Apéndice E).

Figura 3.12

Diferencias significativas en difusividades en periodo decreciente



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

3.4 Efecto de los pre-tratamientos en las características físicas y sensoriales del banano seco.

Encogimiento

Una de las características físicas que varían después del secado, es el encogimiento que sufre la muestra. En la tabla 3.5, se muestra los porcentajes promedio de encogimiento en forma descendente de las muestras secas.

Tabla 3.5

% Encogimiento Promedio

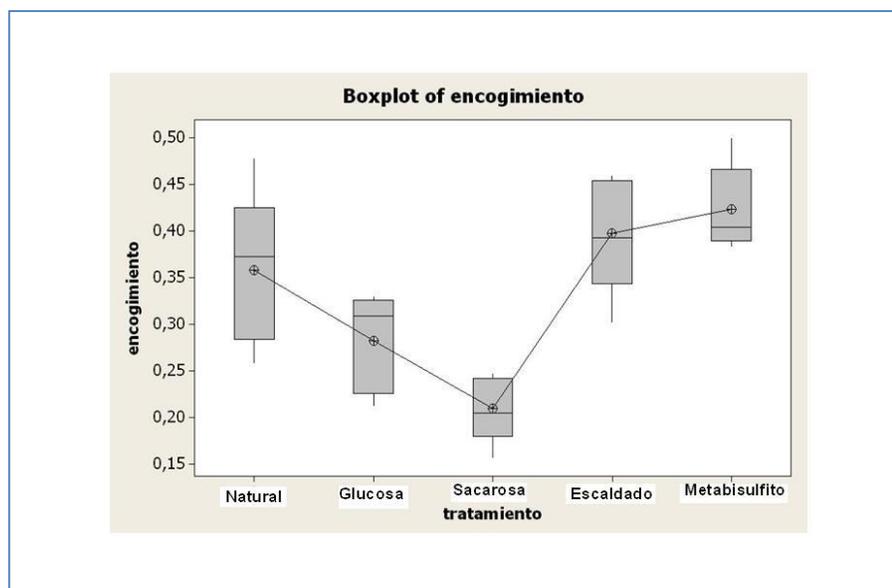
Tratamiento	Promedio Encogimiento
Metabisulfito	42,3% +/- 4,62
Escaldado	39,8% +/- 6,26
Sin Tratamiento	35,8% +/- 8,20
DO Glucosa	28,2% +/- 5,29
DO Sacarosa	21% +/- 3,50

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009

Mediante el análisis estadístico, se evidenció que el banano seco sin pre-tratamiento tiene diferencia significativa en el encogimiento con respecto a la muestra previamente deshidratada con sacarosa. Esto se debe por la deformación que sufre la muestra durante la deshidratación osmótica. Las muestras deshidratadas previamente en glucosa y sacarosa tienen diferencias significativas con la muestra escaldada y metabisulfito. La deformación que sufre la muestra en el escaldado es debido al cambio estructural que tiene la muestra por la gelatinización de los almidones.

En la figura 3.13, se presenta el diagrama de bloques donde se muestra si existe o no diferencias significativas en el encogimiento de los diferentes secados.

Por consiguiente, como el valor p es menor que el p de referencia (0.005), existe suficiente evidencia significativa para aceptar que los pre-tratamientos influyen en el encogimiento del producto (Apéndice B).

Figura 3.13**Diferencias significativas de los encogimientos**

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Análisis Sensorial

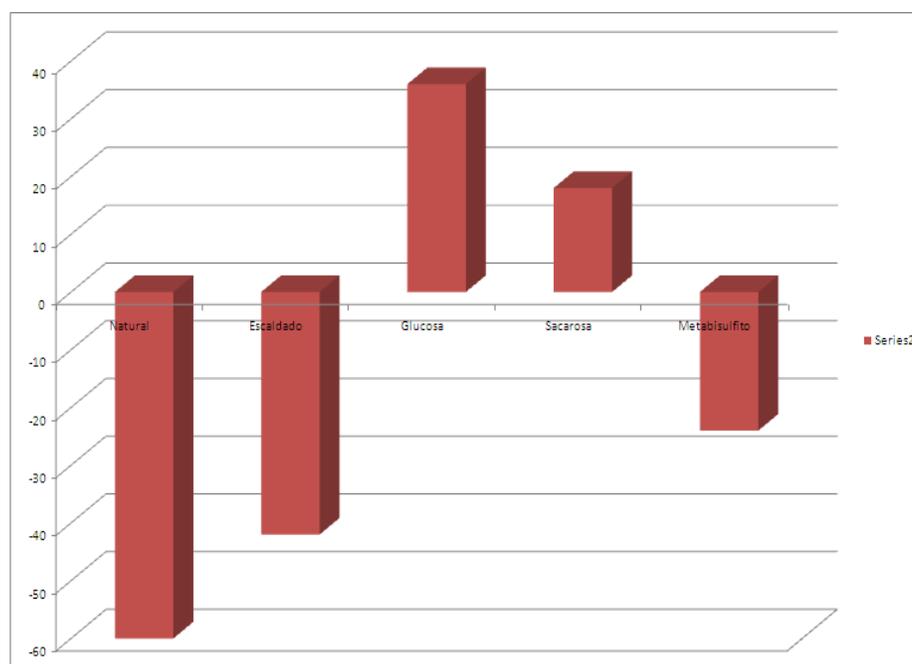
Para el análisis sensorial, se realizaron pruebas, con el fin de medir el grado de aceptación del banano seco, sometido a diferentes pre-tratamientos. Para esto se trabajó con una escala

hedónica de 9 puntos, la cual se realizó a 30 panelistas no entrenados (Apéndice F).

Los datos fueron analizados estadísticamente con un 95% de significancia. La figura 3.14 muestra la preferencia de los panelistas.

Figura 3.14

Tendencia de los Consumidores



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

Al analizar la Figura 3.14 se ve la tendencia que los consumidores prefieren los productos deshidratados osmóticamente con glucosa y sacarosa respectivamente, en comparación con la muestra sin tratamiento y escaldado.

3.5 Efecto de los pre-tratamientos en la estabilidad de banano seco.

La estabilidad de los alimentos secos, está directamente relacionada con el valor de las monocapas de las isothermas de sorción. Esto se debe a que a mayor valor de monocapa mayor vida útil. En la tabla 3.6 se muestra el tiempo de vida útil de dichas muestras en orden decreciente. Analizando la vida útil, mediante un diseño experimental, se evidenció que entre la vida útil del banano seco sin pre-tratamiento comparado con los demás, si tiene mayor estabilidad que los demás. Al comparar entre las muestras que han tendido pre-tratamientos, según el análisis estadístico, no existen diferencias significativas entre los pre tratamientos. En el análisis, se obtuvo un valor p menor que el de referencia, lo que permite

concluir que los pre-tratamientos inciden en la vida útil (Apéndice A).

Tabla 3.6
Vida Útil de Banano Seco

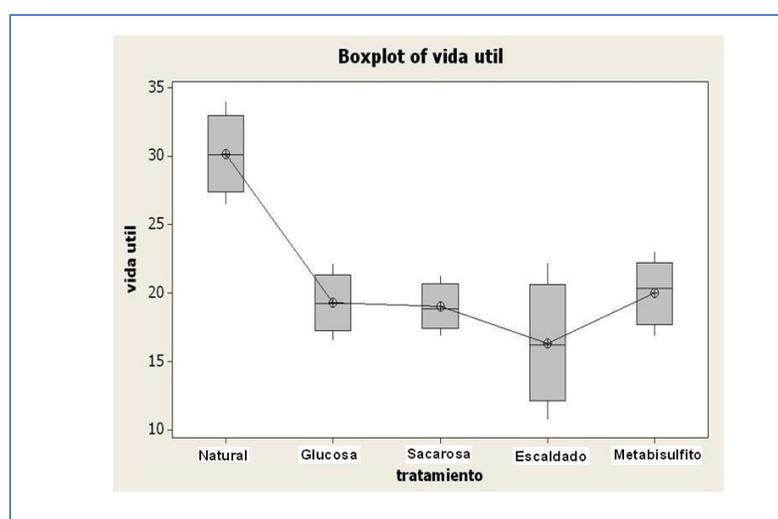
Pre-Tratamiento	Vida Útil (Días)
Sin Tratamiento y Secado	30.18
Metabisulfito y Secado	20.11
D.O. Glucosa y Secado	19.29
D.O. Sacarosa y Secado	19.01
Escaldado y Secado	16.34

Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

En la figura 3.14 se muestra el diagrama de bloques, donde se observa si existe o no diferencias significativas en la vida útil de las muestras secas sometidas a los diferentes pre-tratamientos.

Figura 3.15

Diferencia significativa entre la vida útil



Elaborado por: Israel Andrade L., Paul Castro I., 2009.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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. En cambio, las moléculas de sacarosa son más grandes. El coeficiente de difusión de sólidos es mayor que la glucosa y se concluye que tienen mayor tendencia a penetrar en la fruta, pero por su tamaño se hace más difícil su entrada, produciendo acumulación, lo que a la vez dificulta la salida del agua, la cual compite en contracorriente con los sólidos, lográndose que la deshidratación tenga mayor tiempo.

Analizando los valores de las monocapas de las isothermas 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. Su tiempo de vida útil es menor que la muestra seca sin pre-tratamiento, porque al debilitarse las uniones del agua, la movilidad molecular de ésta aumenta.

Después de la deshidratación osmótica, la salida del agua fue más difícil durante el secado. Ésto es debido a que en la deshidratación osmótica se eliminó la mayor cantidad de agua libre. La poca cantidad de agua libre que quedaba en la fruta, se eliminó durante la etapa de periodo de velocidad constante del secado, el cual fue corto, y a la vez, la difusividad del agua en esta etapa, es pequeña también, por haber menos agua que

eliminar. En la etapa decreciente de secado, la eliminación del agua es más difícil, por estar ésta más ligada a la estructura y la difusión es pequeña también por esta misma razón.

La muestra sometida a metabisulfito de sodio tuvo un tiempo de vida útil menor a la muestra sin pre-tratamiento. El comportamiento durante el secado fue igual a la muestra sin pre-tratamiento, esto es debido a que el metabisulfito no compite por el agua en igual grado que el almidón de la fruta. Este antioxidante favorece a la apariencia del producto, pero es desfavorable en el sabor que le imparte.

Todas las muestras sometidas a un pre-tratamiento al secado, tienen menor tiempo de vida útil, comparadas con las muestras sin pre-tratamiento, debido a que la adición de aditivos (metabisulfito y azúcares) aumentan la movilidad molecular del agua, que hace que el agua esté más disponible a las reacciones, a pesar que la actividad de agua disminuya.

BIBLIOGRAFÍA

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.

7. Dadzie, B.K. y J.E. Orchard. 1996. Post-harvest criteria and methods for routine screening of banana/plantain hybrids. International Network for the improvement of Banana and plantain. Montpellier, France. 64 p.
8. Association of Official Analytical Chemists. 1980. thirteenth edition. Printed and bound by George Banta Company, Inc. pp. 363,507,537,547. Menasha, Wisconsin.
9. 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.
10. Bolin, H.R. & Huxsoll. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. J. Food Sci. 48, pp 202-205.
11. 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.
12. Bolin, H.R. & Huxsoll. 1993. Partial drying of cut pears to improve freeze/thaw texture. J. Food Sci. 58, pp 357-360.

- 13.** Chavez Maria G- Avanza J.R. 2006. Evaluación de pretratamientos en el secado convectivo de berenjenas. Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Cientificas y Tecnologicas. pp 1-4.
- 14.** 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.
- 15.** Ponting, J.D., Watters G.G., Forrey RR. Jackson R, Stanley W.L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. Food Technol. 20: 125-128.
- 16.** 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
- 17.** 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.
- 18.** Lechert, H. Water Binding on Starch: NMR Studies on Native and Gelatinized Starch. Water Activity. Influence on Food Quality, 1978, pp 223 - 241.
- 19.** Paris, M; Bizot, H; Emery, J; Buzaré, Y; Buléon, A. NMR Local Range Investigations in Amorphus Starchy

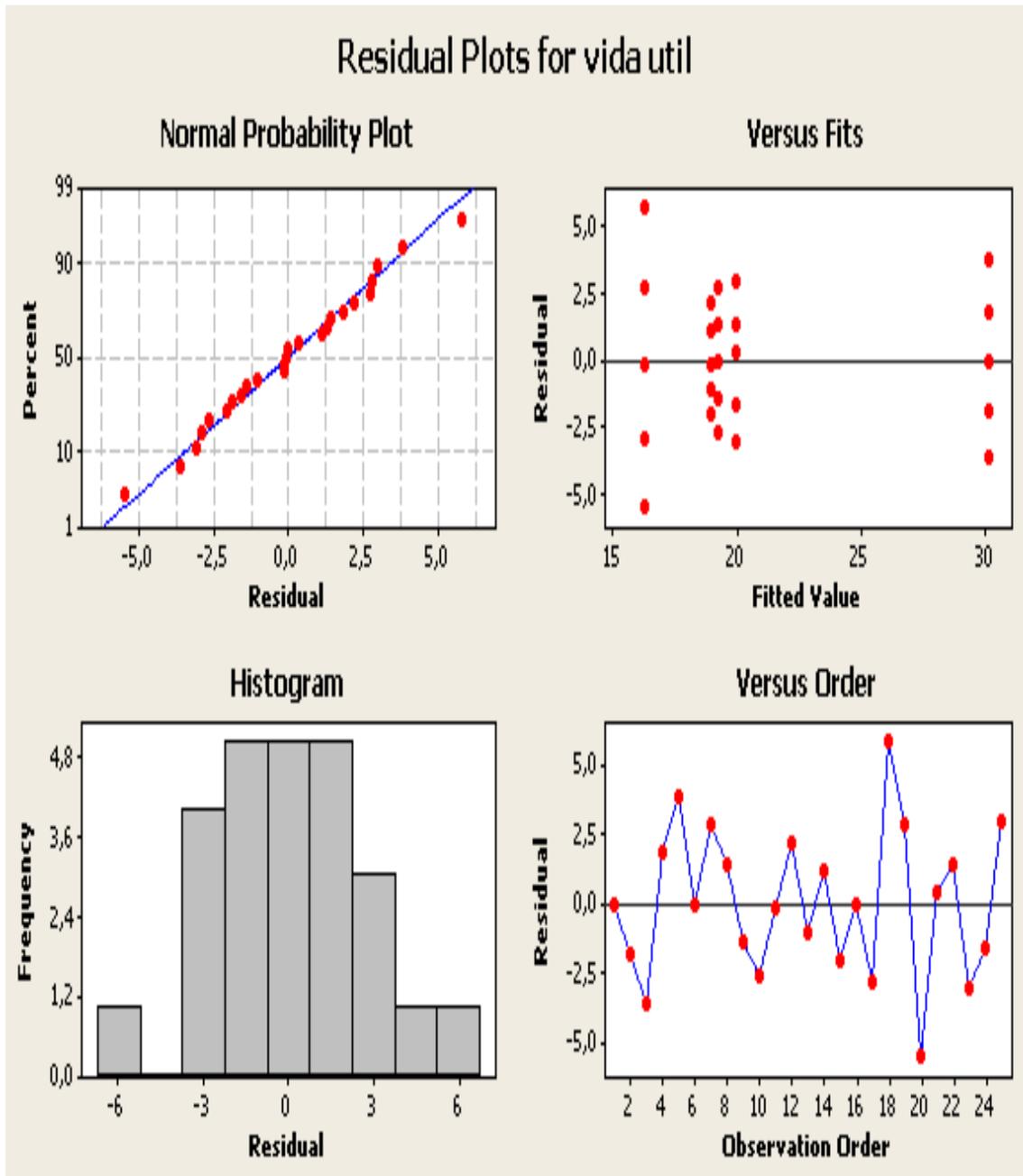
Substrates: II-Dynamical Heterogeneity Probed by H/C Magnetization Transfer and 2 D WISE Solid State NMR. International Journal of Biological Macromolecules, 2001.

20. 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.

21. Chatakanonda, P; Chinachoti, P; Siroth, 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.

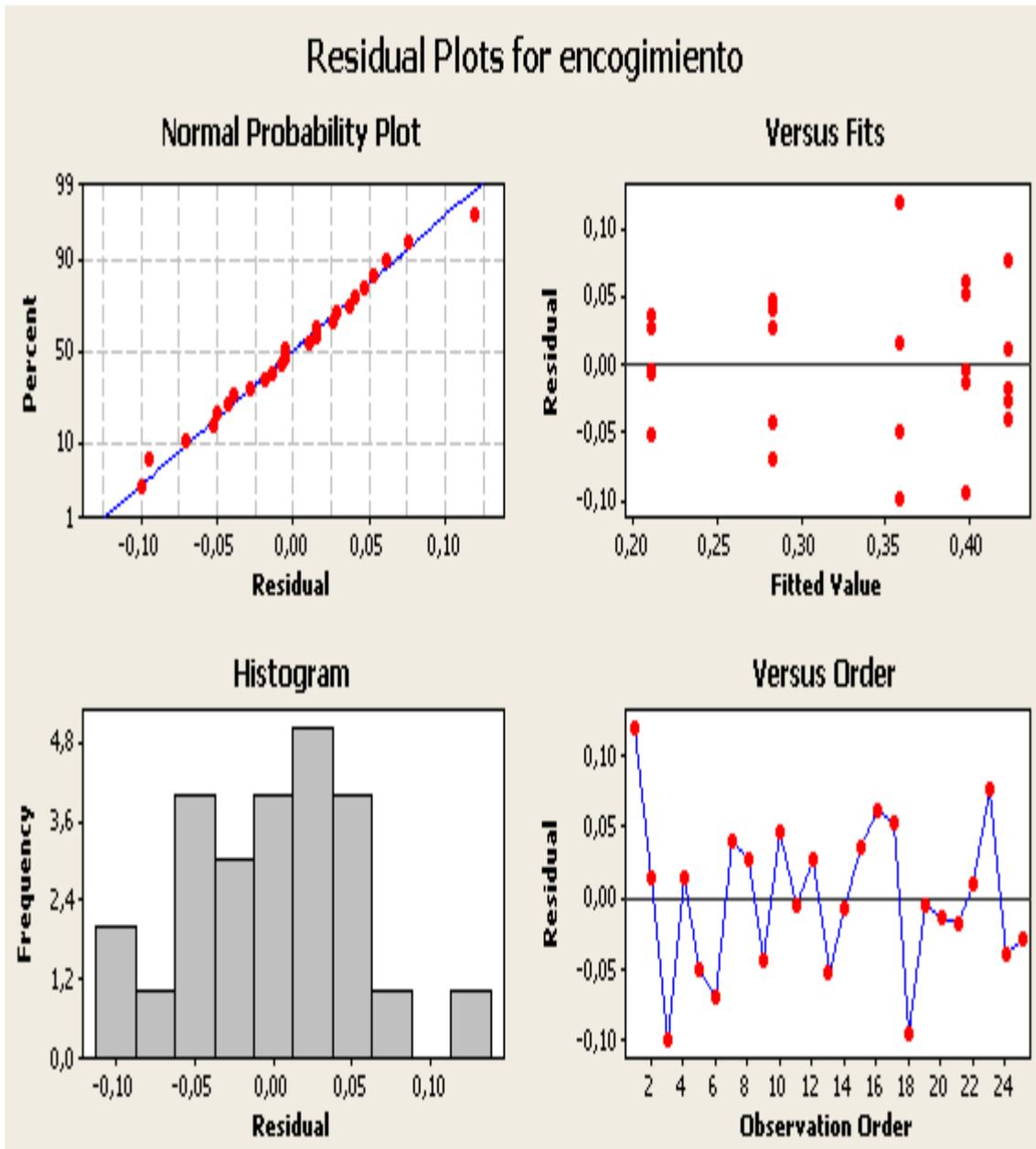
Apéndice A

Gráfica de Residuos cuatro en uno, vida útil



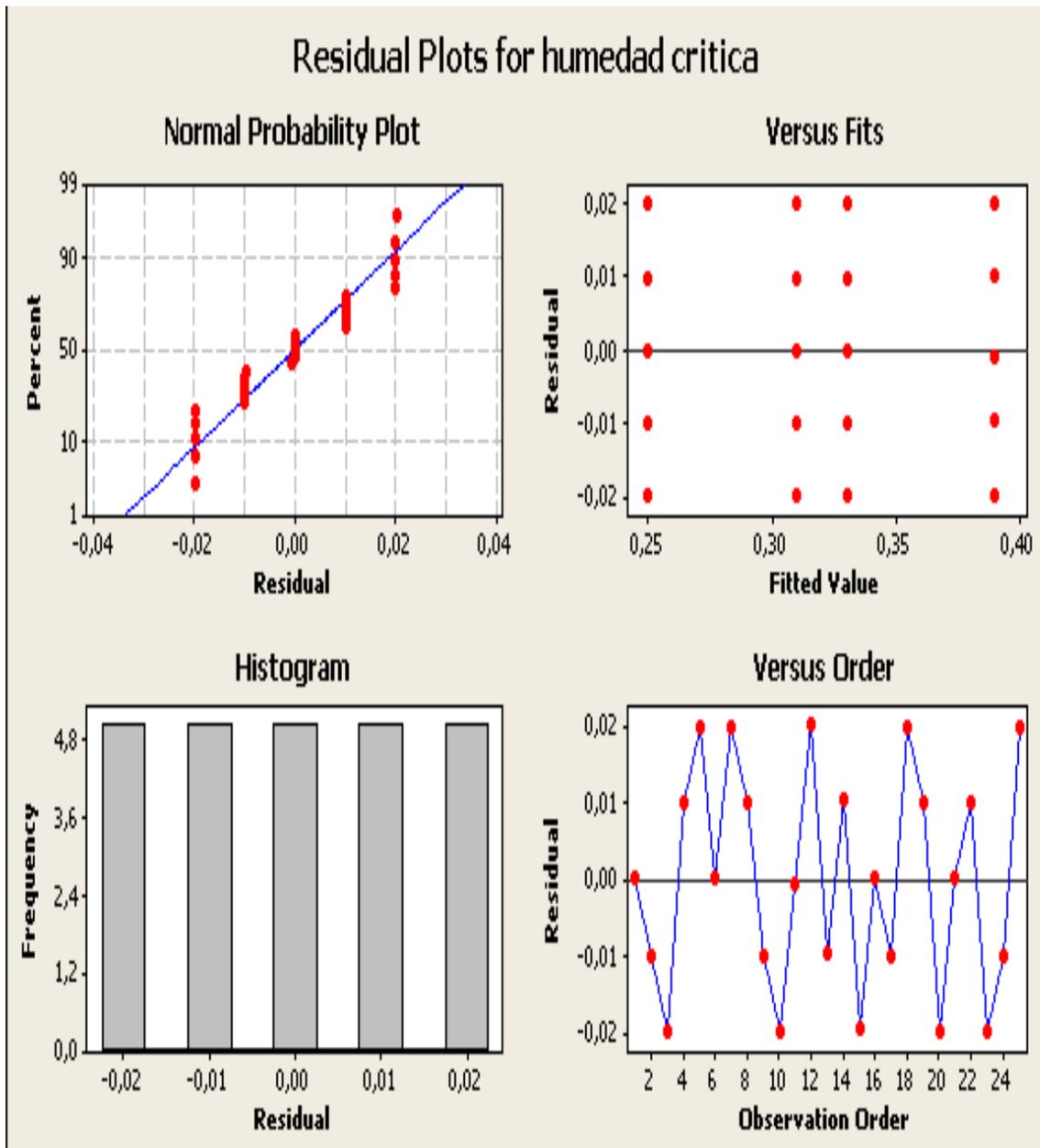
Apéndice B

Grafica de Residuos cuatro en uno, encogimiento



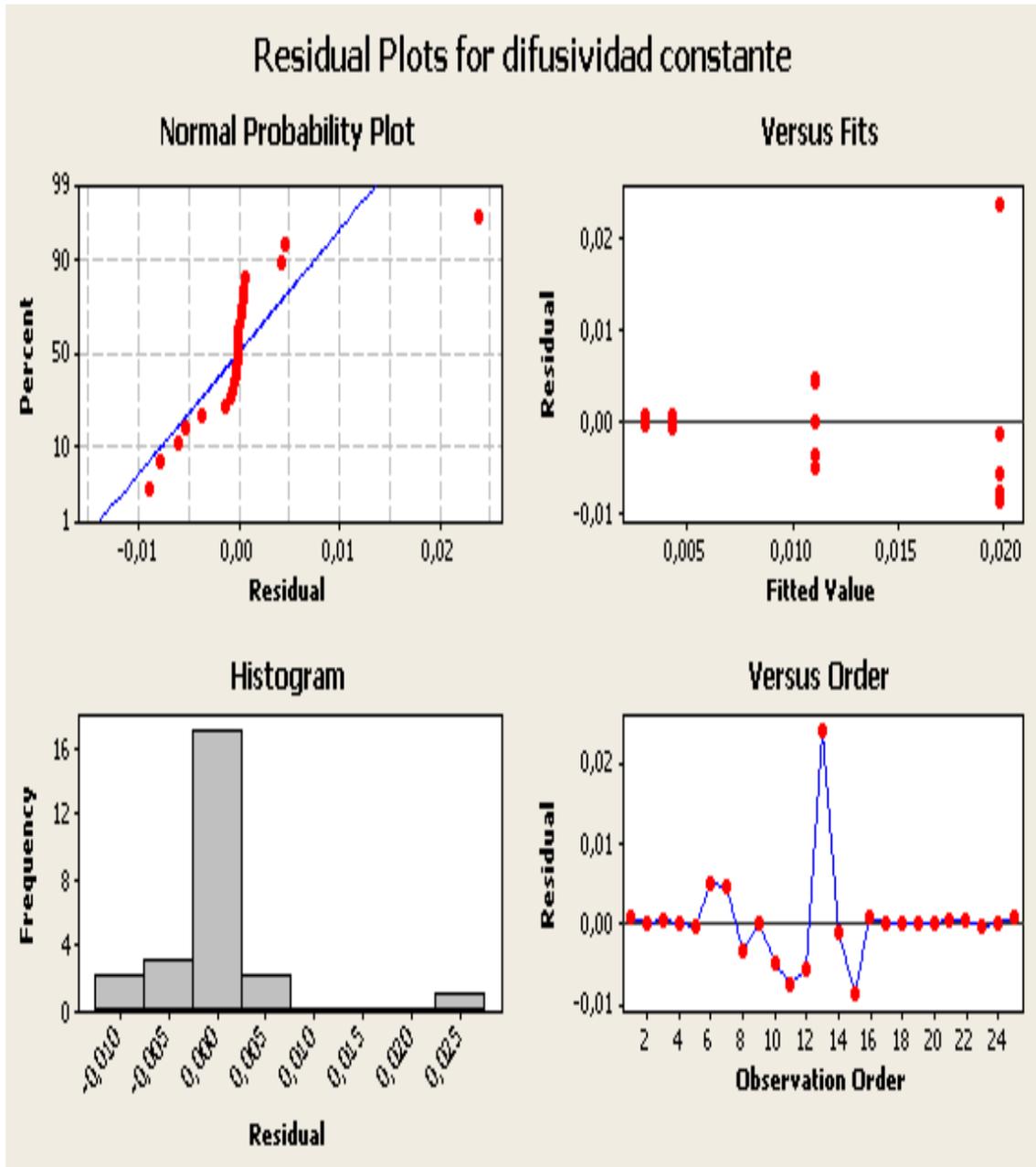
Apéndice C

Gráfica de Residuos cuatro en uno, humedad critica



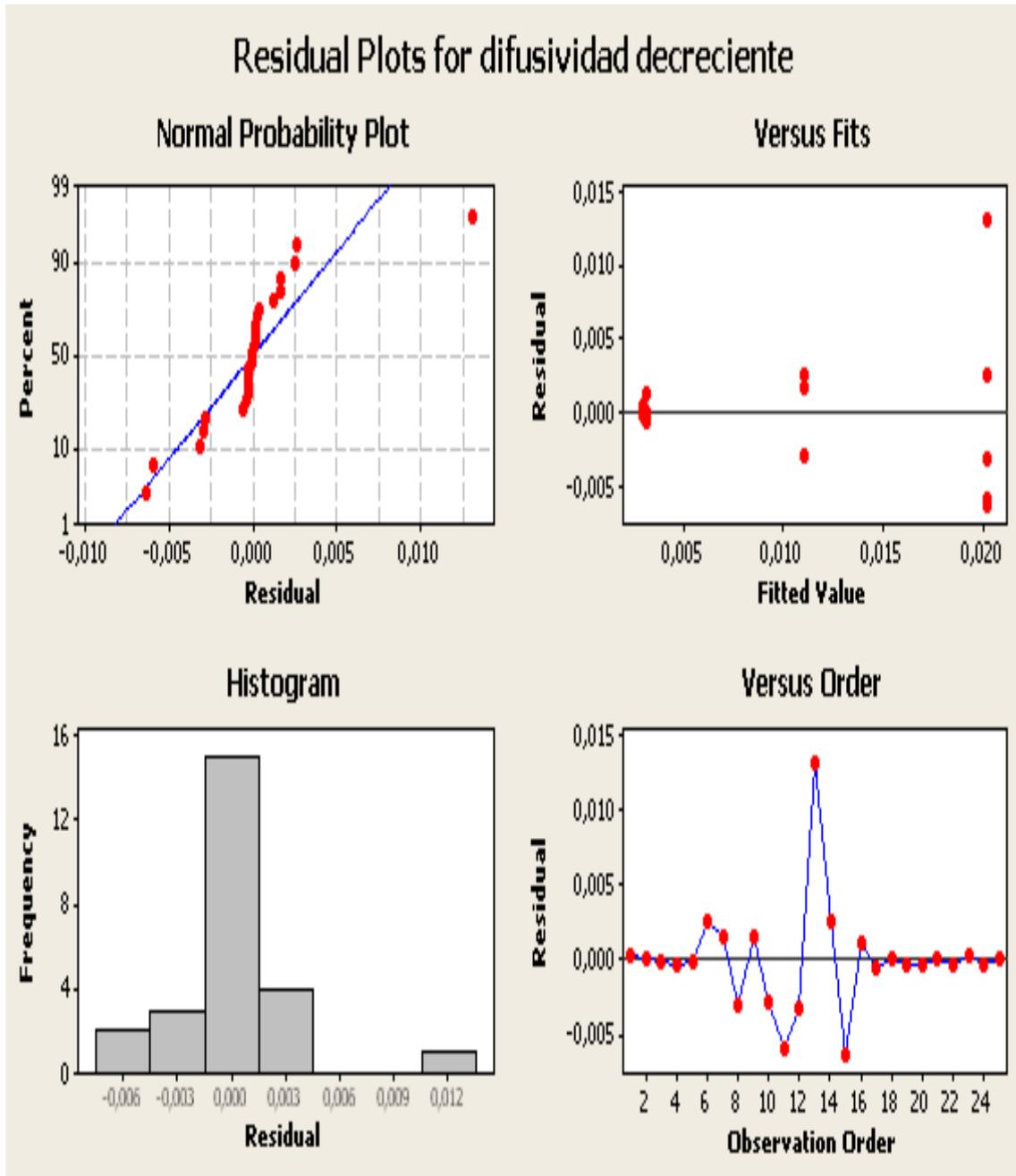
Apéndice D

Gráfica de Residuos cuatro en uno, difusividad en periodo constante



Apéndice E

Gráfica de Residuos cuatro en uno, difusividad en periodo decreciente



Apéndice F

Ficha de Tendencia de los Consumidores

MUESTRAS		Natural	Glucosa	Sacarosa	Escaldado	Metabisulfito
		003	524	632	483	785
Me Gusta	Muchisimo					
	Mucho					
	Bastante					
	Ligeramente					
Ni me gusta Ni me disgusta						
Me Disgusta	Ligeramente					
	Bastante					
	Mucho					
	Muchisimo					

