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 Piña y en las Características Físicas del Producto Final"

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS DE ALIMENTOS

Presentada por:

Enrique Javier Buestán Benavides

Santiago Gabriel España Carriel

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

Al término de esta etapa de mi vida, solamente me queda agradecer a todas aquellas personas que de alguna u otra manera fueron gestoras de este logro, enumerarlas sería imposible, quiero sin embargo no dejar de mencionar:

En primer lugar agradezco a Dios por que sin Él nada de esto sería posible, por ser el guía de mi vida, por cuidar de mí y de mi familia y por darme la fortaleza necesaria en los momentos de debilidad.

Quiero dar las gracias de manera muy especial a mis padres, por enseñarme que en la vida todo se puede alcanzar con perseverancia y esfuerzo, por estar a mi lado con una palabra sabia y con un abrazo oportuno cada vez que lo necesito.

A mi hermano, por cuidar de mí como si fuera un hijo, por preocuparse día a día de mis avances académicos. A mi hermana, por enseñarme lo importante de la vida, por ayudarme y protegerme desde que fui un niño. A José Luis y Danielita, por darme esa alegría necesaria que tanto se necesita para seguir adelante.

Quiero agradecer también a esa niña tan especial en mi vida, que me ha acompañado durante toda mi vida universitaria, Gracias por todo.

Como no mencionar a la Ingeniera Fabiola Cornejo, por su invaluable ayuda, por regalarme su tiempo y por guiarme hasta estas instancias. Así también, a mis amigos, que estuvieron conmigo durante toda la carrera ayudándome de una manera u otra.

Enrique Buestán Benavides

AGRADECIMIENTO

Hace poco más de tres años que mi vida cambió por completo, por la dolorosa partida de mi padre, pensé que nada sería igual. No obstante, con el paso del tiempo uno aprende que la felicidad es gratis y fiel compañera de todos los días.

Son muchas las personas en mi vida que merecen un especial agradecimiento, y a las cuales debo mucho. Primero agradezco a Dios, mi señor, dueño de mi vida, por haberme puesto en un hogar maravilloso al nacer, y por darme salud, fuerza y alegría a mi vida.

A mi padre, Santiago España, el cual desde el cielo me ha guiado y me infunde las ganas de superación, por todos sus buenos consejos, su apoyo inmenso, su comprensión y su amor. Te amo y te extraño una inmensidad, siempre vivirás en mi corazón.

A mi madre, Sara Carriel, madre, serás siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final recompensa. Tu esfuerzo, se convirtió en tu triunfo y el mío. Te amo.

A mis hermanos Roberto, Loly, Miguel, Marilú, Israel, y mis sobrinos Robertito, Jonathan, Dayita, Roberto Carlos, Pedrito, Jayco y Chris, por

compartir y dedicar gran parte de sus vidas conmigo y por darme aliento para la ardua tarea de caminar hacia la perspectiva de un nuevo día. Los amo con todo mi corazón.

Quiero agradecer muy especialmente a mi enamorada, Miriam, quien durante todo este tiempo, tuvo la paciencia suficiente para apoyarme profundamente, para darme su comprensión, su cariño y su amor.

Agradezco a todos mis compañeros de Proyecto, Kike, Marcos, Braulio, Israel, Paúl, a mis maestros y en especial a nuestra directora de Proyecto, la Ingeniera Fabiola Cornejo, por guiarnos hacia la culminación de este proyecto y de nuestra carrera universitaria.

Mis últimos agradecimientos, no por ello menos importantes, son para todos mis amigos pasados, presentes y aquellos que por infortunios de la vida no están físicamente con nosotros, pero siempre presentes en mis pensamientos; a mis amigos pasados por ayudarme a crecer y madurar como persona, y a los presentes por estar siempre conmigo apoyándome en todas las circunstancias posibles, ustedes también son parte de esta alegría.

Un gran abrazo y muchísimas gracias de corazón por todo este tiempo que he podido compartir con ustedes, los echaré mucho de menos y les deseo lo mejor en todo lo que se propongan en un futuro.

GRACIAS A TODOS, este proyecto también es un poquito suyo.

Santiago Gabriel España Carriel

DEDICATORIA

A Dios

A mis Padres

A mis Hermanos

A mis Sobrinas

DEDICATORIA

A Dios

A mis Padres

A mis Hermanos

A mis Sobrinos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE PROYECTO

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).

Enrique Buestán Benavides

Santiago España Carriel

RESUMEN

En el país, el desarrollo y producción de productos secos no es alto, debido a que carecen de buenas características organolépticas. Para esto, existen pre-tratamientos que mejoran las características de los productos tanto físicas como sensoriales. Por lo tanto, en este proyecto de graduación se analizó y estudió los efectos que producen la deshidratación osmótica, escaldado y uso de antioxidantes en la piña después del secado.

Para poder estudiar el efecto de la Deshidratación Osmótica en la piña, se determinó los agentes osmóticos a utilizar, los cuales fueron Glucosa y Sacarosa; ambos, seleccionados por ser comunes y de fácil obtención en nuestro medio. Además, para el estudio de estos edulcorantes en la fruta, se trabajó con las mismas condiciones para que no influyan en los resultados posteriores. Lo importante en este estudio, es que se determinó que a mayor peso molecular del agente osmótico, este favorece a la pérdida de agua de la fruta comparada con la ganancia de sólidos.

Otros de los pre-tratamientos utilizados fueron el escaldado con agua, y el uso de antioxidantes, en el que se eligió Metabisulfito. Ambos se los estudió con el fin de analizar los efectos que producen en la piña después del secado.

Una vez finalizado el secado de los diferentes pre-tratamientos se desarrollaron isotermas, con el fin de determinar el valor de las monocapas, las cuales están íntimamente relacionadas con la vida útil del producto.

Por otro lado, se analizó la velocidad de secado de las frutas, aquí se pudo observar que el producto con mayor velocidad de secado fue el que no sufrió ningún pre-tratamiento, lo que se relaciona con la vida útil.

Para completar la investigación se determinó la vida útil de la piña mediante el método descrito por Theodore Labuza. Mediante este estudio se corroboró los datos obtenidos mediante las isotermas y el tiempo aproximado de vida útil de los mismos. Los resultados observados demostraron que el producto con mayor vida útil fue el que no sufrió ningún pre tratamiento previo al secado.

Todos los resultados fueron analizados estadísticamente mediante un diseño de experimentos, con el fin de comparar las variables de respuestas obtenidas durante el desarrollo del proyecto 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 TEÓRICO……...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……..5

1.2. Deshidratación de Frutas……...6

1.2.1. Pre-tratamientos……6

1.2.2. Secado……9

1.2.3. Estabilidad de Productos Secos……..……11

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS……..14

2.1. Caracterización de Materia Prima……..15

2.2. Diseño Experimental……18

2.3. Análisis Físico Químicos……..20

2.4. Determinación de Isotermas de Absorción……...21

2.5. Metodología del proceso de Deshidratación Osmótica……..22

2.6. Metodología del Escaldado…….25

2.7. Metodología del proceso de Adición de Ácidos orgánicos …..….....26

2.8. Metodología del proceso de Secado…… 26

2.9. Determinación de Estabilidad de Productos Secos……30

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS……33

3.1. Determinación de parámetros de proceso para los pre-tratamientos elegidos……..33

3.1.1. Cinética de Deshidratación Osmótica…….33

3.2. Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua de la piña deshidratada…….39
3.3. Efecto de los pre-tratamientos en la cinética de secado de piña……..42
3.3.1. Curvas de Secado……..42
3.3.2. Cálculos de coeficientes de difusión aplicando la Ley de Fick……...45
3.4. Efecto de los pre-tratamientos en las características físicas y sensoriales de la piña deshidratada……49
3.5. Efecto de los pre-tratamientos en la estabilidad de la piña deshidratada……..54

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….57

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

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
Fig	Figura
GAB	Guggenheim-Anderson-de- Boer
g H_2O/100 g ss	Gramos de agua por 100 gramos de sólido seco
g	Gramos
H	Humedad
HR	Humedad Relativa
Kw	Coeficiente de difusión de agua
Ks	Coeficiente de difusión de sólidos
Min	Minutos
pH	Potencial de hidrógeno
Ec	Ecuación

SIMBOLOGÍA

H_2O	Agua
>	Mayor que
<	Menor que
Δ	Diferencial
%	Porcentaje
+/-	Más – 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.	Isoterma de absorción típica……	5
Figura 2.	Curva típica de velocidad de secado…….	10
Figura 3.	Esquema Experimental.....	14
Figura 4.	Materia Prima: *Ananas Comosus*……	15
Figura 5.	Equipo para determinación de Aw…….	20
Figura 6.	Sistemas de desorción de isotermas empleados……....	21
Figura 7.	Tipo de corte empleado……..…….	22
Figura 8.	Pre-tratamiento con soluciones hipertónicas…..……..	23
Figura 9.	Pre-tratamiento con antioxidantes…..……..	26
Figura 10.	Velocidad de la pérdida de agua en soluciones hipertónicas…….....	34
Figura 11.	Relación entre la cantidad de agua vs tiempo en solución de sacarosa……	35
Figura 12.	Relación entre la cantidad de agua vs tiempo en solución de glucosa……..……	36
Figura 13.	Relación entre la cantidad de sólidos vs tiempo en solución de sacarosa……	36
Figura 14.	Relación entre la cantidad de sólidos vs tiempo en solución de glucosa.……	37
Figura 15.	Isoterma de secado sin tratamiento……..…….....	39
Figura 16.	Análisis de curvas de secado……..…...……	42
Figura 17.	Curva de secado……	46
Figura 18.	Diagrama de cajas, difusividad de la Piña……	48
Figura 19.	Diagrama de cajas, encogimiento……..	51
Figura 20.	Tendencia de los consumidores…….	53
Figura 21.	Diagrama de cajas, vida útil de la Piña…….	55

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Efecto de la Aw sobre el crecimiento microbiano……	3
Tabla 2.	Estados de madurez de la piña a 28 ºC……	16
Tabla 3.	Características físico químicas……	17
Tabla 4.	Equipos utilizados en la experimentación……	20
Tabla 5.	Características del secador de bandejas de FIMCP…...	27
Tabla 6.	Coeficientes de transferencia de agua……..	38
Tabla 7.	Coeficientes de transferencia de sólido……	39
Tabla 8.	Contenido de humedades en las diferentes monocapas……..	40
Tabla 9.	Difusividades de las muestras durante el secado……	47
Tabla 10.	Encogimientos promedios……	49
Tabla 11.	F calculadas……...	54
Tabla 12.	Vida útil……	56

INTRODUCCIÓN

La conservación de los alimentos se fundamenta en la aplicación de tratamientos que eviten el desarrollo de microorganismos y las reacciones de deterioro. Una de las condiciones para que se den estos efectos es la alta Aw de las frutas.

Uno de los tratamientos más aplicados es el secado, el cual consiste en la reducción de la Aw. El problema con la aplicación del secado es que los productos secos, sensorialmente no son aceptados. Actualmente, existen tratamientos preliminares que son utilizados para mejorar las características organolépticas del producto final, sin embargo, podrían afectar significativamente a la vida útil.

El desarrollo de esta investigación fue para establecer si los pre-tratamientos aplicados al proceso de secado producen cambios estructurales que afectan las características organolépticas y vida útil de los productos secos, y de esta manera determinar los parámetros más adecuados para obtener productos de alta calidad y competitivos en el mercado. Es por eso, que para dicho estudio, se analizó los efectos de los pre-tratamientos convencionales en la cinética de secado, utilizando el modelo de Fick. Además, se determinó la influencia de los pre-tratamientos en las características físico-químicas y estabilidad en percha del producto final.

CAPÍTULO 1

1. Fundamento Teórico

1.1 Efecto del agua en los alimentos

1.1.1. Aw y Estabilidad

Uno de los parámetros más importantes en la estabilidad de los alimentos es la actividad de Agua (Aw). Mientras mayor sea la Aw, la textura del alimento se vuelve más jugosa. Sin embargo, el alimento se vuelve más perecedero frente a los microorganismos. Por otro lado, si la Aw disminuye, la textura se vuelve más dura y crujiente pero a la vez es más estable.

La tabla 1 muestra los efectos de Aw en el crecimiento microbiano.

TABLA 1

EFECTO DE LA Aw SOBRE EL CRECIMIENTO MICROBIANO

Aw	M.O. Inhibidos	Alimentos
1-0.95	*Pseudomonas, Eschericha, Proteous, C. perfringes, Bacillus*	Alimentos frescos altamente perecederos
0.95-0.91	Limite inferior para el crecimiento de bacterias.	Jamón cuado, queso, zumos concentrados
0.91-0.87	Muchas especies de levaduras *(Candida), Micrococcus.*	Embutidos fermentados, quesos maduros.
0.87-0.80	Mayoría de mohos, *S.aureus*, levaduras(*Saccharomyces*)	Leche condensada, harina, arroz
0.80-0.75	Bacterias halófilas	Mermelada, mazapán
0.75-0.65	Mohos xerófilos	Caramlelos, miel, frutas desecadas
0.65-0.60	Levaduras osmófilas (*S. rouxii*).	
0.50	No proliferación microbiana	Pastas, especias
0.40	No proliferación microbiana	Huevo en polvo
0.30	No proliferación microbiana.	Galletas, bizcochos, corteza de pan
0.20	No proliferación microbiana	Leche en polvo, verduras deshidratadas

Fuente: Fennema, O.R., Ed. (1985). Food Chemistry - Second Edition. pp.53. (7)

El porcentaje de humedad en el alimento difiere de la Aw, debido a que el primer término indica la cantidad total de agua contenida en el alimento, mientras que la Aw da una idea de la disponibilidad del agua para las reacciones de deterioro.

1.1.2. Isoterma de Absorción

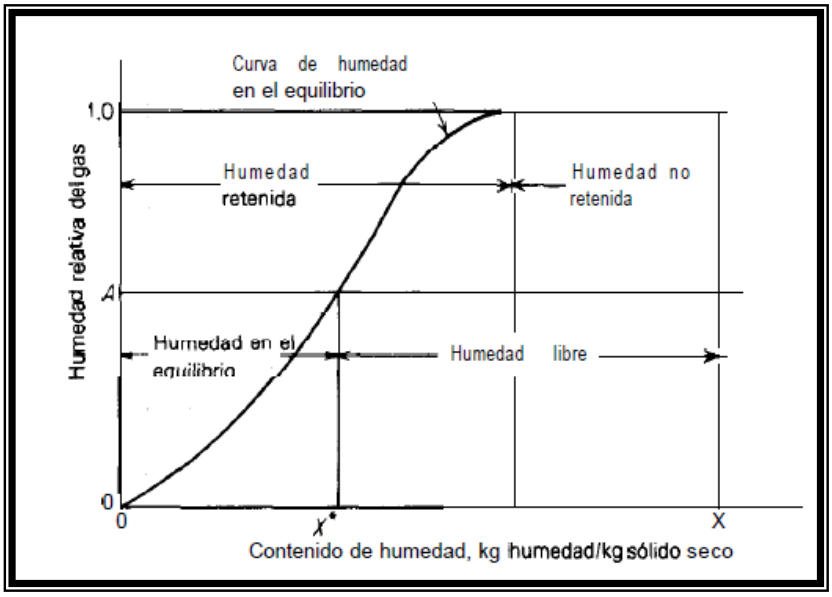
Las Isotermas de Absorción son de gran importancia, no solo en la parte científica de los alimentos, sino también en el desarrollo de la industria. Este tipo de gráfica brinda diferentes beneficios como el mejoramiento del proceso de secado, el diseño de secadores y la selección de material de empaque. Adicionalmente, estas gráficas ofrecen información sobre la mono capa de Brunnauer, Emmett y Teller (BET) encontrada en la mayoría de los alimentos entre 0,1-0,5.

Las Isotermas constan de 3 partes, según lo muestra la fig. 1.

La región A corresponde a la adsorción de agua hasta la monocapa, en esta región una sola capa de moléculas de agua cubre la totalidad de la superficie del alimento, aquí se encuentra el agua ligada del alimento. La región B corresponde a la adsorción de agua en multicapas.

Finalmente, la región C corresponde a la condensación de agua, dentro de los poros capilares del alimento, aquí se produce la disolución de los microsolutos del alimento (Fig. 1).

FIGURA 1
Isoterma de absorción típica



Fuente: Operaciones de transferencia de masa. Robert E. Treybal (8)

1.1.3. Movilidad Molecular

La movilidad molecular no es un parámetro termodinámico sino cinético que depende tanto de la temperatura como de la viscosidad, la misma que está relacionada con la cantidad de agua necesaria para disolver y movilizar el sustrato. Por lo

tanto, esta tiene una influencia sobre las velocidades de las reacciones químicas y crecimiento microbiano.

Algunos autores han demostrado que la estabilidad de los alimentos depende de la movilidad molecular y no de la Aw (1).

1.2 Deshidratación de Frutas

1.2.1 Pre tratamientos

Con el objetivo de mejorar las características organolépticas y sensoriales de los productos secos, se aplican diferentes pre-tratamientos, tales como:

- Deshidratación Osmótica
- Escaldado
- Antioxidantes

Deshidratación Osmótica: Este tratamiento se da por la inmersión de una solución hipertónica (2). Para este estudio se utilizaron como agentes osmóticos la Glucosa y Sacarosa, los cuales permiten que durante la deshidratación osmótica se produzca una transferencia del agua desde la fruta a la solución hipertónica y una de transferencia del agente osmótico a la fruta. Estas transferencias dependen de muchos

factores como la permeabilidad de las membranas al soluto, y la temperatura.

Este tratamiento consta de dos partes, la primera denominada deshidratación, donde la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos, y la segunda etapa llamada impregnación donde la ganancia de sólidos es mayor que la perdida de agua (3).

Por otro lado, existen otros tipos de procesos que aumenta la velocidad de deshidratación; como el escaldado que disminuye la selectividad de las paredes de las células.

Según algunos autores la deshidratación osmótica influye en la estabilidad del producto, pues al aumentar los sólidos, el agua del producto se hace menos disponible para procesos de deterioro o desarrollo de microorganismos (5). Sin embargo, considerando estudios relacionados a la movilidad molecular ocurriría lo contrario (1).

Escaldado: El escaldado es un pretratamiento muy importante, sobre todo para procesos como esterilización y secado. Este no destruye microorganismos, ni alarga la vida

útil de los alimentos. El objetivo principal es de inactivar enzimas, aumentar la fijación de la clorofila en vegetales verdes y ablandar el producto ya que las enzimas afectan el color, sabor y contenido vitamínico.

Este proceso consta de tres partes:

- Calentamiento: La Temperatura varía entre 80–100 °C
- Tiempo de mantenimiento: Este varía dependiendo las resistencias de las enzimas en los diferentes tipos de frutas.
- Enfriamiento: Se lo realiza con el fin de evitar la proliferación de los microorganismos termófilos.

El escaldado se puede realizar de dos formas: con agua o con vapor. Al realizar el pre-tratamiento con agua se pierden nutrientes por lixiviación disminuyendo el valor nutritivo del alimento, mientras que con el vapor no ocurre este tipo de problemas.

Antioxidantes: Los antioxidantes son utilizados en la industria por diferentes motivos, como mejoradores de sabor y como preservantes. Además, los antioxidantes previenen la oxidación enzimática, la degradación del color y resalta el sabor.

El metabisulfito es utilizado en la Industria debido a su capacidad de inhibición del pardeamiento enzimático y no enzimático, de prevención del enranciamiento oxidativo, de modificación de las propiedades reológicas, que en los alimentos es muy importante, y de conservación contra la acción de microorganismos; lo cual le produce estabilidad a la fruta. Sin embargo, una de las desventajas del uso de metabisulfito es que puede reducir el contenido vitamínico de los alimentos (10).

1.2.2 Secado

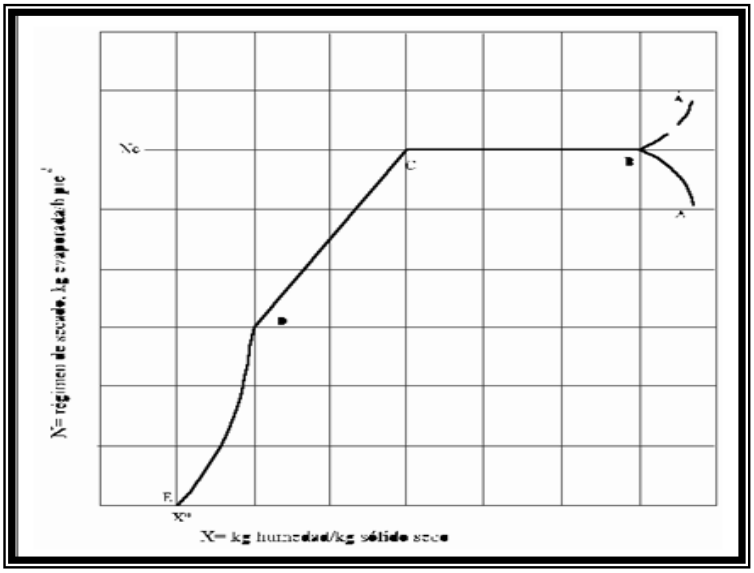
El fundamento del secado es reducir la cantidad de agua de un material sólido para evitar la proliferación de microorganismos y putrefacción, y esto se lo realiza hasta que llegue a un valor aceptable. El agua se elimina generalmente por evaporación,

pero también se da por sublimación como es en el caso de la Liofilización.

La Figura 2 muestra la curva de velocidad de secado vs tiempo, se puede observar que el proceso se divide en 4 etapas.

FIGURA 2

CURVA TÍPICA DE VELOCIDA DE SECADO



Fuente: Operaciones de transferencia de masa. Robert e.treybal. (6)

I. A: Contenido inicial de humedad libre (el sólido tiene una temperatura menor a la del proceso).

   B: La temperatura de la superficie alcanza el valor de equilibrio.

II. B-C: Velocidad constante (la superficie del sólido esta húmeda) representa la remoción del agua libre. La temperatura de la superficie es igual a la temperatura del bulbo húmedo.

III. C-D: Velocidad decreciente

IV. E: Humedad en equilibrio.

1.2.3 Estabilidad de Productos Secos

Actualmente, la estabilidad de los alimentos tiene una estrecha relación con la Aw ya que es de gran importancia conocer la cantidad de agua disponible en el alimento para las diferentes reacciones de deterioro.

Existen diferentes tipos de factores que disminuyen la vida útil de los productos entre ellos:

- Carga Microbiana
- Reacciones enzimáticas y no enzimáticas
- Destrucción de nutrientes, aroma y gusto.

Justificación:

Todos los cambios mencionados anteriormente ocurren a diferente Aw. Por lo tanto, es de gran importancia el análisis de los diferentes parámetros que afectan la vida útil, debido a que al definir el más importante junto con humedad crítica y otros más, se puede determinar la estabilidad en percha del mismo.

Objetivo generales

- Establecer si los pretratamientos aplicados al proceso de secado producen cambios estructurales que afectan las características organolépticas y vida útil de los productos deshidratados, de esta manera determinar los parámetros más adecuados para obtener productos de alta calidad y competitivos en el mercado.

Objetivos específicos

- Analizar el efecto de pre-tratamientos convencionales (deshidratación osmótica, uso de antioxidantes y escaldado) en la cinética de secado utilizando el modelo de Fick.

- Determinar la influencia de los pretratamientos en las características fisicoquímicas (Aw, encogimiento) y estabilidad en percha del producto final.

CAPÍTULO 2

2. Materiales y Métodos.

Metodología de la investigación

La Figura 3 muestra el esquema experimental realizado.

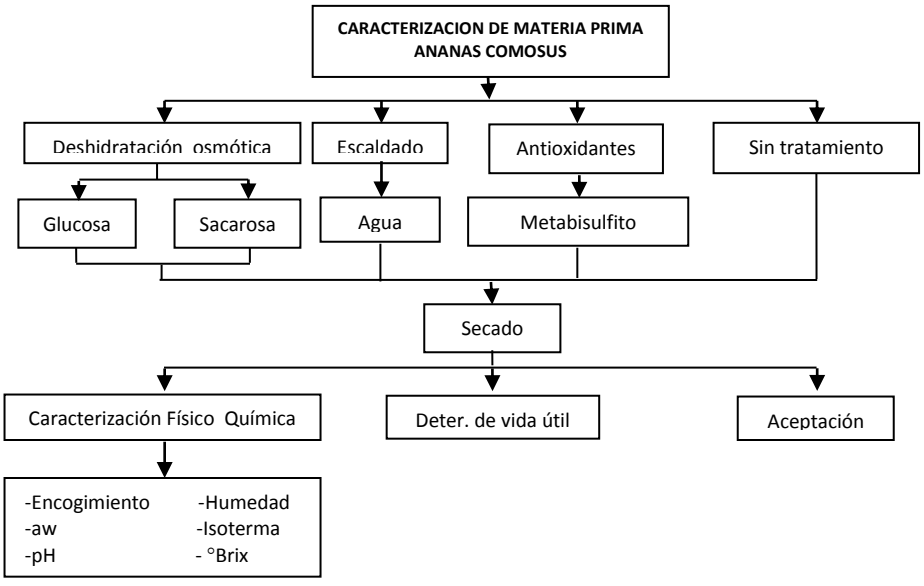


Fig. 3 Esquema Experimental.

2.1. Caracterización de Materia Prima

Para el desarrollo del proyecto se utilizó una de las variedades de Piña más consumida en el Ecuador (*Ananas Comosus*), como se indica en la figura 4.

Las frutas analizadas se obtuvieron en el mercado Colón de la ciudad de Milagro, la cual fue previamente evaluada mediante la manipulación para asegurarnos que cumplan las características necesarias.

Fig. 4 Materia Prima: *Ananas Comosus*

La tabla 2 muestra un estudio realizado por Alvarado (2002), en relación a los diferentes estados de madurez de la piña.

TABLA 2

ESTADOS DE MADUREZ DE LA PIÑA A 28 ºC

DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
Fruta completamente verde	Trazas amarillas dentro de los ojos del fruto	Color amarillo más claro dentro de los ojos	La mayoría de los ojos muestran color amarillo

DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7
Trazas de verde rodeando los ojos	Trazas de verde en todo el fruto	Fruto completamente amarillo

Día 1: 11 º Brix- muy firme al corte

Día 2: 13 º Brix-

Firme al corte

Día 3: 15 º Brix-

Medianamente firme al corte

Día 4: 15.4 º Brix - ligeramente firme

Día 5: 15.8 º Brix-

Elaborada por*: *Wendy Alvarado ,2002

Considerando este estudio, se seleccionó el estado de madurez del segundo día; debido a que la textura es más firme para el proceso de secado. La tabla 3 muestra las características físico-químicas de la piña en el segundo día, estos resultados se obtuvieron por quintuplicado.

TABLA 3

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

Color	Verde Día 2 (Tabla 3)
Aw	0.991 +/- 0,007
H (%)	87.05 +/- 2
Sólidos Solubles ^{0}Brix	11,5 +/- 0,707
pH	3.946 +/- 0,418

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

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

Las hipótesis se definieron de la siguiente manera:

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

Ha (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 pre-tratamientos 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 pre-ratamientos 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.

2.3. Análisis Físico Químicos

La tabla 4 muestra los análisis físico-químicos realizados en la experimentación.

TABLA 4

EQUIPOS UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

Análisis	AOAC	Equipo	Observaciones
Humedad	22.021	Balanza Termo Gravimétrica	
^{O}Brix	31.009	Refractómetro	
Aw	32.005	Aqualab	Figura 5
pH	33.007	Potenciómetro	
Encogimiento			Medición antes y después del secado

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

Figura 5. Equipo para determinación de Aw.

2.4. Determinación de Isotermas de Absorción

Con el fin de analizar el efecto de los diferentes tipos de tratamientos del producto deshidratado, se realizaron isotermas de absorción para el producto natural, después de la deshidratación osmótica y para los productos obtenidos luego del secado. Las Isotermas se las realizó a temperatura ambiente 25 ºC +/- 1, por quintuplicado. El método utilizado es por desorción en un desecador a 0% HR (Figura 6). Se tomaron muestras a través del tiempo analizando humedades y Aw.

Los datos obtenidos fueron ajustados mediante el programa Water Analizer de Webtech, el cual ajusta las isotermas aplicando la ecuación de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB).

Figura 6. Sistemas de desorción de isotermas empleados

2.5. Metodología del proceso de Deshidratación Osmótica

La Deshidratación Osmótica se realizó con dos agentes osmóticos, Sacarosa y Glucosa a 60 ^{O} Brix.

Los pedazos de piña sometidos a este tratamiento se cortaron en forma de prisma con dimensiones de 4cm x 1cm x 1cm (Figura 7). La relación empleada fue de 1:4 fruta jarabe y fue monitoreado considerando el peso, humedad, Aw y grados Brix hasta las 5 horas de proceso. Las pruebas fueron realizadas por triplicado y con réplica.

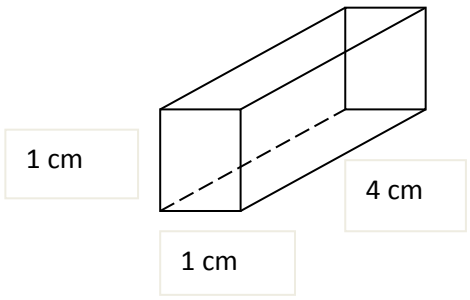
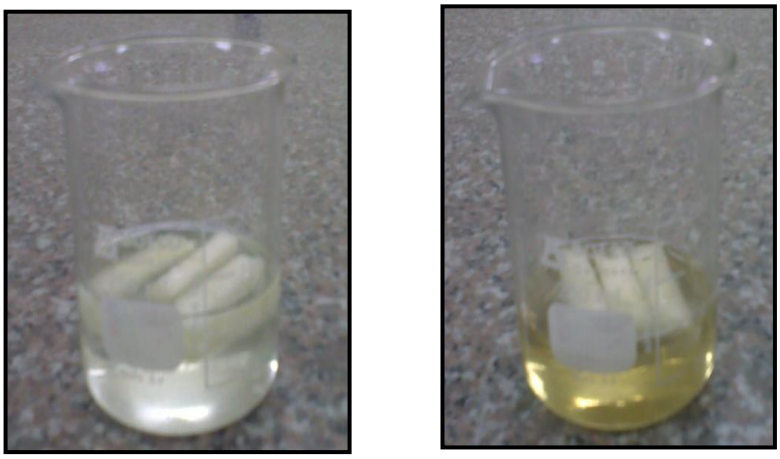


Figura 7. Tipo de corte empleado

El proceso consistió en sumergir la fruta dentro de la solución hipertónica tal como se indica en la Figura 8.



GLUCOSA **SACAROSA**

Figura 8. Pre-tratamiento con soluciones hipertónicas

Para evaluar la cinética de deshidratación osmótica en sus diferentes tiempos se utilizaron las ecuaciones descritas a continuación.

Ganancia de Sólidos

La masa de solutos que se transfieren al producto se describe con la Ec. 1.

$$\Delta M_S = \frac{M_t X_{St} - M_0 X_{S0}}{M_0} \quad \text{(Ec. 1)}$$

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 (^{O}Brix).

M_0 = Masa inicial de la fruta.

X_{S0} = Sólidos solubles iniciales en las frutas (^{O}Brix).

Pérdida de Agua

La masa de agua que migra del producto está descrita en la Ec. 2

$$\Delta M_W = \frac{M_0 X_{W0} - M_t X_{Wt}}{M_0} \quad \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

ΔM_W = Pérdida de agua (g de H_2O/ g de fruta).

M_0 = Masa inicial de la fruta.

X_{W0} = Humedad Inicial de la fruta (g de H_2O/ 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 de H_2O/ g de muestra).

Pérdida de Peso

La pérdida de peso del producto se la puede hallar con la Ec. 3

$$\Delta M = \frac{M_O - M_t}{M_O} \quad \text{(Ec. 3)}$$

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

La Piña es una fruta que no se pardea con facilidad, sin embargo se sometieron las muestra al tratamiento de escaldado con el fin de inhibir la enzima polifenoloxidasa. Este proceso se lo llevó a cabo con agua. Una vez finalizado el tratamiento se le realizó la prueba del guayacol obteniendo que a los 15 segundos de calentamiento a 100 ^{O}C la enzima se inactive (4).

2.7 Metodología del proceso de Ácidos orgánicos.

Para el desarrollo de este proceso se trabajó con metabisulfito (Figura 9). Según estudios realizados por Chávez y Avanza (2006), la concentración adecuada para la inactivación enzimática es de 0,5% de metabisulfito. Las piñas fueron expuestas a estas soluciones por 3 minutos previos al proceso de secado (4).

Figura 9. Pre-tratamiento con antioxidantes

2.8 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 ^{O}C y una humedad relativa de 68 +/- 2 ^{O}C. Se monitoreó el peso de la fruta hasta peso constante (4).

Se utilizó el secador de bandejas fabricado en La Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción con las características descritas en la tabla 5. 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 humedad libre vs tiempo.

TABLA 5

Características del Secador de bandejas de FIMCP

Prototipo	
Hertz	60
Voltios	220
Watts	5600
Amperios	25.5
Fase	Simple

Fuente: Secador de Bandejas FIMCP

Para establecer las velocidades de secado constante es preferible transformar los datos obtenidos en base húmeda a base seca.

Humedad en base seca

La humedad en base seca se expresa mediante la diferencia entre el peso del sólido húmedo en gramos totales de agua y el peso del sólido seco dividido para el peso del sólido seco en gramos.

$$X_t = \frac{W - W_S}{W_S} \quad \text{(Ec. 4)}$$

Donde:

X_t **=** Humedad en base seca (g H_2O/ g sólidos secos).

W **=** Peso del sólido húmedo en gramos totales de agua más sólidos seco.

W_S **=** Peso del sólido seco en gramos.

Curva de Secado

Mediante la Ec.5 se halla la velocidad de secado.

$$R = -\frac{W_S}{A}\left(\frac{\partial X}{\partial t}\right) \quad \text{(Ec. 5)}$$

Donde:

R = Velocidad de secado (Kg de H_2O/ h m^2).

W_S = Kilogramos de sólidos secos.

A = Área superficial expuesta al secado (m^2).

∂X = $X_1 - X_2$.

∂t = $t_1 - t_2$.

Transferencia de masa

Mediante la Ec. 6 se calcula la transferencia de masa durante el secado.

$$\ln\frac{xt - xeq}{xo - xeq} = \ln\left(\frac{8e^{-Dlt\left(\frac{\Pi}{2X1}\right)^2}}{\Pi^2}\right) \quad \text{(Ec. 6)}$$

Donde:

$\ln$ = Logaritmo natural.

xt = Humedad libre a un tiempo determinado (g H2O/ g sólidos secos).

xeq = Humedad de equilibrio durante el secado.

xo = Humedad libre en el tiempo cero.

e = Exponencial.

t = Tiempo de análisis.

$x1$ = Constante. Transferencia en una sola dirección.

2.9 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 piña 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. (Ec. 7 y 8).

$$\Theta c = \frac{Ln\,\tau c}{(k/x)*(A/Ws)*(Po/b)} \quad \text{(Ec 7)}$$

$$\ln\,\tau = \ln\frac{me - mi}{me - m} \quad \text{(Ec. 8)}$$

Donde:

$\ln \tau$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque), Esta fue determinado mediante la Ec. 7.

k / x = Permeabilidad máxima del alimento en gH_2O / dia m^2 mmHg.

Ws = Peso del sólido seco en gramos.

Po = Presión de vapor de agua a la temperatura T (mm Hg).

b = Pendiente de la Isoterma (tangente entre la Humedad crítica e inicial).

Humedad Crítica

Con el fin de obtener la humedad crítica de los diferentes productos, se desarrolló una prueba hedónica (Anexo A), 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 panelista que únicamente se desarrollará la prueba de manera visual.

CAPÍTULO 3

3. Análisis de Resultados.

3.1. Determinación de parámetros de los proceso para los pre tratamientos elegidos.

Los parámetros considerados para determinar una adecuada deshidratación osmótica fueron: tiempo, pesos.

3.1.1. Cinética de Deshidratación Osmótica.

El objetivo de este proceso es de analizar la tranferencia de masa en la deshidratación osmótica, empleando soluciones hipertónicas como sacarosa y glucosa.

Este proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente por duplicado, teniendo en cuenta la mismas condiciones para el

desarrollo de la investigación; este proceso se realizó hasta que los pesos de la muestra se reduzcan al 50% según los estudios realizados por Ponting et al, 1966. (9).

Una vez finalizado el pre-tratamiento se analizaron los datos obtenidos como peso de las muestras, ganancia de sólidos y pérdida de agua.

La figura 10 muestra la comparación entre la pérdida de agua de las piñas deshidratas en Glucosa y Sacarosa.

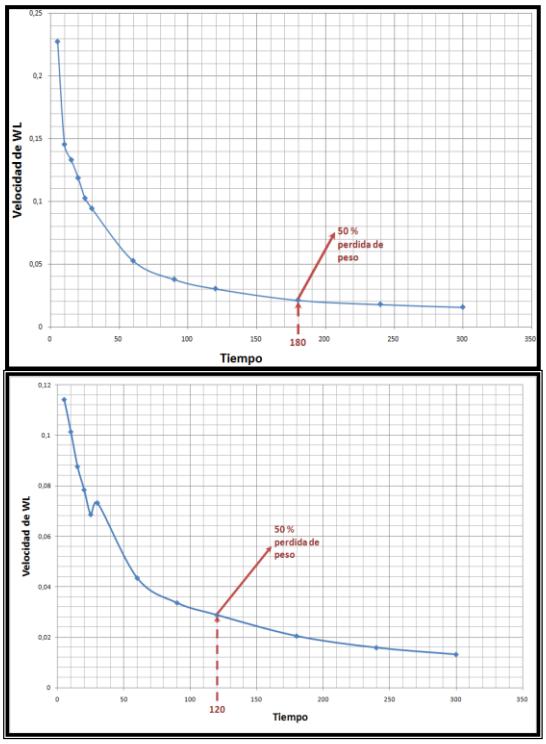


Fig. 10. ***Velocidad de la pérdida de agua en soluciones hipertónicas***

Para determinar los coeficientes de transferencia de agua (Kw) y de sólidos (Ks), aplicando la segunda ley de Fick, se realizaron las gráficas de la relación entre la cantidad de agua (Mw) y cantidad de sólidos (Ms) vs tiempo, como se muestran en las figuras del 11 al 14.

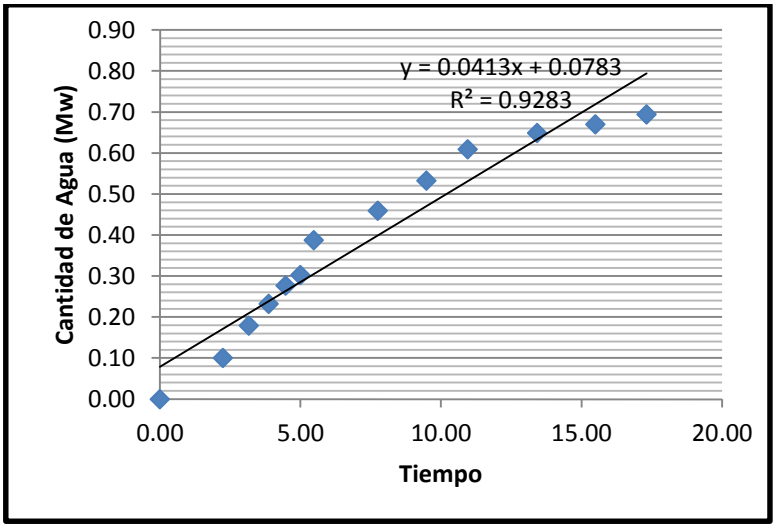


Fig. 11. ***Relación entre la cantidad de agua vs tiempo en solución de sacarosa***

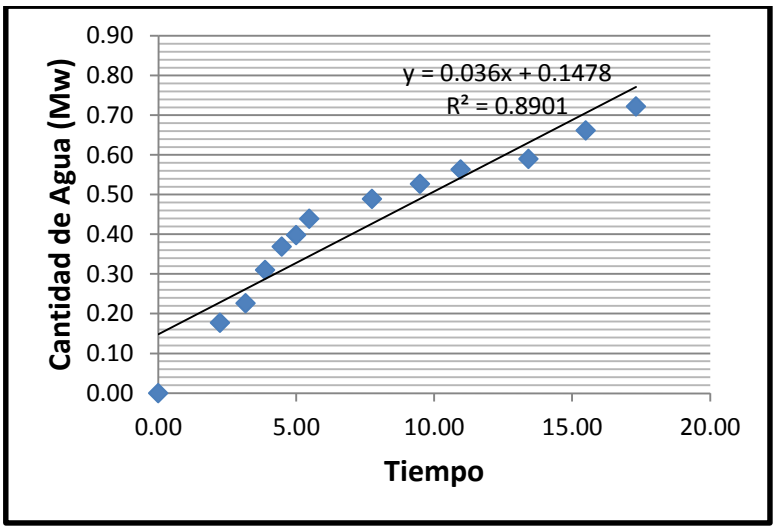


Fig. 12. ***Relación entre la cantidad de agua vs tiempo en solución de glucosa***

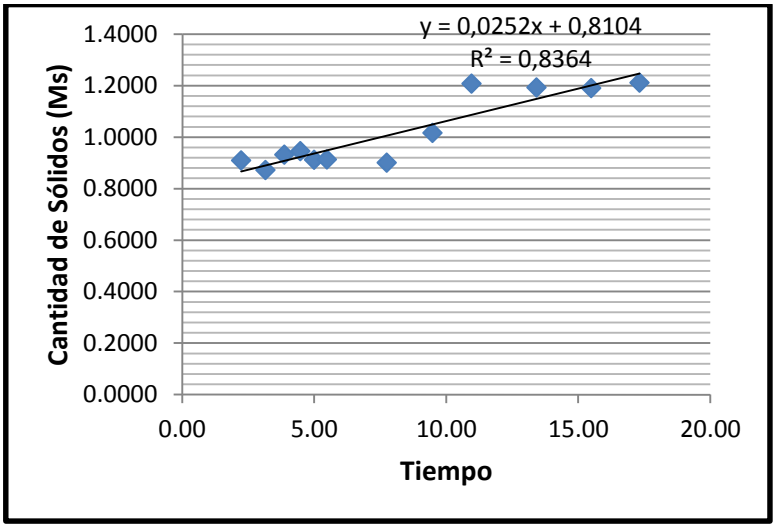


Fig. 13. ***Relación entre la cantidad de sólidos vs tiempo en solución de sacarosa***

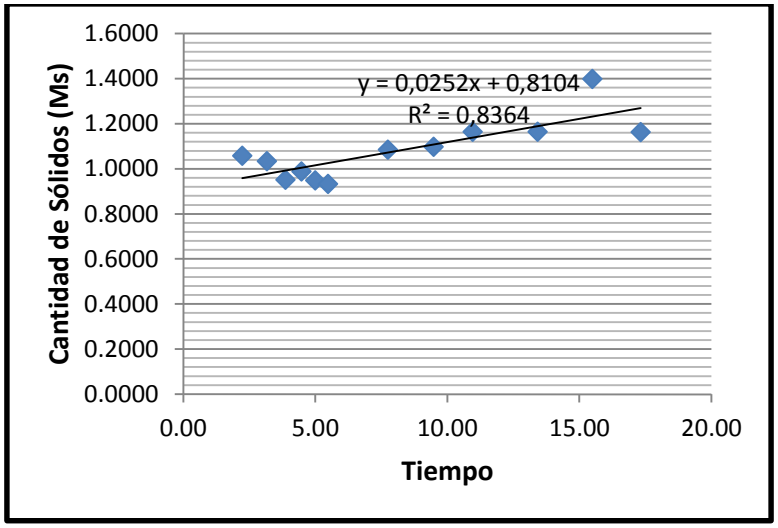


Fig. 14. ***Relación entre la cantidad de sólidos vs tiempo en solución de glucosa***

Los tiempos para alcanzar el 50% de reducción de peso del producto en la solución de glucosa y sacarosa fueron, 180 min y 120 min respectivamente.

Los factores que influyen principalmente en la transferencia de masa son: agente osmótico y el peso molecular. Por lo tanto, a mayor peso molecular del agente osmótico favorece a la pérdida de agua comparada con la ganancia de sólidos.

Sin embargo, no solo estos factores influyen en el fenómeno de la transferencia de masa, ya que también hay que tener en cuenta el encogimento que sufre la piña, debido a que al

cambiar la estructura del alimento, el diámetro de los poros disminuye, dificultando la entrada y salida de sólidos y agua.

Una vez obtenidos los coeficientes de transferencia de agua (Kw) y del sólido (Ks), se selecciónó el agente osmótico (sacarosa) como el más idóneo para la deshidratación osmótica previo al secado, ya que al poseer el Kw más alto (TABLA 6) permite que haya mayor salida de agua del alimento e igual entrada de sólidos al tener un valor similar de Ks que la glucosa (TABLA 7).

TABLA 6

Coeficientes de Transferencia de Agua

Kw Glucosa	***0.0360***
Kw Sacarosa	***0.0413***

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

TABLA 7

Coeficientes de Transferencia de sólido

Ks Glucosa	***0.0252***
Ks Sacarosa	***0.0252***

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

3.2. Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua de la piña deshidratada.

Con la finalidad de analizar los diferentes pre-tratamientos luego del secado, se elaboraron las isotermas de absorción (Fig. 15) tanto para las piñas sin tratamiento, como para la piña con los pre-tratamientos. Las isotermas obtenidas se muestran en los Anexos B al E.

BET	***0.17***
GAB	***0.16***
R^2	***0.99***

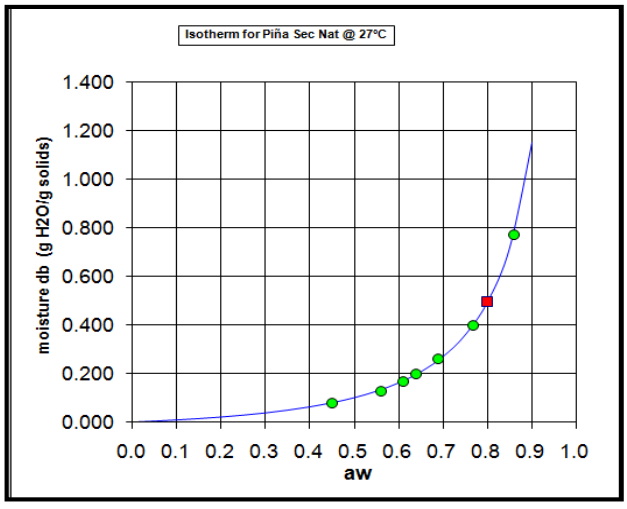


FIG 15. Isoterma de Secado Sin tratamiento

La tabla 8 muestra los valores de la monocapa obtenidos en cada uno de los pre-tratamientos.

TABLA 8

CONTENIDO DE HUMEDADES EN LAS DIFERENTES MONOCAPAS

PRE-TRATAMIENTO	***CONTENIDO HUMEDAD DE LA MONOCAPA (g H_2O/100 g ss.)***
Sin Tratamiento	*0,17*
D.O. Glucosa	*0,13*
D.O. Sacarosa	*0.12*
Escaldado	*0,11*
Metabisulfito Secado	*0.08*

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

Se puede observar que en el caso de la piña sin tratamiento, el contenido de humedad de la monocapa es de 0.17 g H_2O/100 g ss., la misma que está íntimamente relacionada con la vida útil y al

poseer mayor agua ligada se vuelven más estables frente a los que poseen una monocapa con menor valor de agua ligada.

La D.O. con glucosa posee un valor alto de la monocapa, ya que este edulcorante permite que haya mayor entrada de sólidos en la micro-estructura del alimento, permitiendo que haya mayor captación de agua, ligándola y con esto tener un valor de monocapa de 0,13 g H_2O/100 g ss, a diferencia de la sacarosa que posee un valor menor de la monocapa de *0.12* g H_2O/100 g ss, ya que esta no permite que haya mayor entrada de sólidos, teniendo como consecuencia que una mayor parte del agua este en forma libre.

El escaldado posee un valor de monocapa de *0,11* g H_2O/100 g ss, debido a que al realizar el pre-tratamiento de escaldado cambia la estructura del alimento abriendo los poros, permitiendo que haya mayor migración de agua ya que no está ligada en la estructura de la piña.

Por último, encontramos el pre-tratamiento con metabisulfito con un valor de monocapa de *0.08* g H_2O/100 g ss, esto se debe a que el agente antioxidante al interactuar con el agua del alimento forma enlaces Van Der Walls, los mismos que son débiles y por ello fáciles de migrar ya que no se encuentran ligadas al alimento.

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

3.3.1. Curvas de Secado.

Con el interés de conocer la influencia de los diferentes tratamientos previos al secado convencional de la Piña, se realizó la determinación de la velocidad de secado tanto para muestras de piñas secadas sin pre-tratamientos como para muestras de la fruta tratadas previo al secado convencional. La figura 16 muestra las curvas de velocidades de secado en función de la humedad libre.

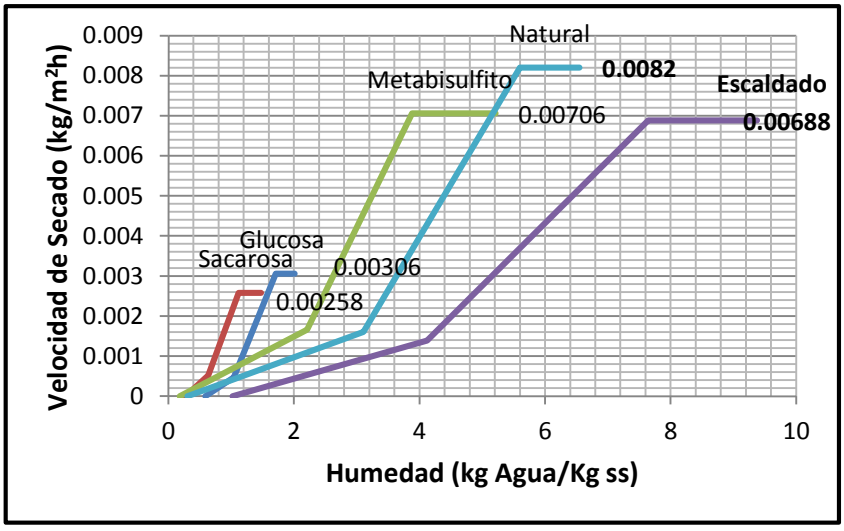


Fig. 16. Análisis de Curvas de Secado

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 piñas 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 20, se observa que las piñas 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 ésto una reducción del tamaño de los poros, a la vez que se crea una capa de azúcar alrededor de la fruta, que disminuye la transferencia de

agua en el secado. Mientras que en el escaldado se afecta directamente a la matriz, alterando la estructura de la fruta, ya que la alta temperatura aumenta la cantidad de agua libre y causa una apertura del diámetro de los poros, facilitando la velocidad de secado.

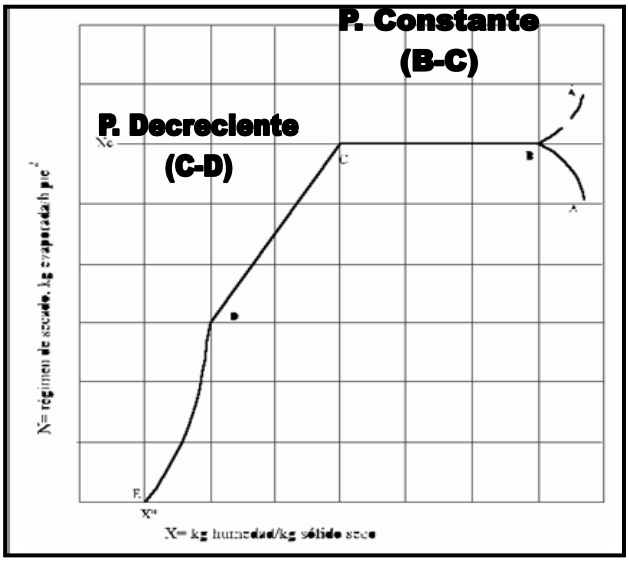
En el caso del Metabisulfito, al ingresar al interior de la piña atrae a las moléculas de agua, formando numerosas uniones de Van Der Walls, estas uniones hacen que la movilidad de esta agua aumente y al ser uniones débiles el agua se elimina con mayor facilidad en el secado que con los otros pre-tratamientos. En el secado de piña 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.

3.3.2. Cálculos de coeficientes de difusión aplicando la Ley de Fick

El coeficiente de difusividad (Fick) me indica la velocidad que tiene el agua para migrar del alimento durante el secado, por ello es preferible que el coeficiente sea mayor ya que es directamente proporcional con la migración del agua. Este valor se lo calcula durante el secado en dos partes (Figura 17):

- Etapa de período constante.
- Etapa de período decreciente.

En el período constante la velocidad es mucho más rápida con respecto al período decreciente. Por lo tanto, en esa etapa encontramos el agua libre y en la etapa siguiente se encuentra el agua ligada haciendo de esta etapa más dificil su salida. Por ello, realizando los cálculos de esta manera evitamos errores como sacar la difusividad como promedio de las 2 etapas.



Operaciones de transferencia de masa. Robert E.Treybal. (6)

Fig. 17 Curva de Secado

Como se puede observar en la Tabla 9. la muestra con mayor difusividad es la del producto natural, debido a que la estructura de la fruta no a sufrido ningún cambio, permitiendo de esta manera que haya una mayor velocidad de migración de agua. La siguiente muestra que posee una difusividad alta es con metabisulfito, esto se debe a que la mayoría del agua se encuentra en forma libre y unida por medio de enlaces débiles (Vander Walls), permitiendo de esta manera que haya una elevada difusividad. El valor de difusividad del escaldado es alto

comparando con Glucosa y Sacarosa, esto se debe a que el pretratamiento permite que al cambiar la estructura del alimento los poros del mismo sufran cambios, aumentando el diámetro y de esta manera existe una migración de agua elevada afectando directamente la velocidad del secado. Por último, se encuentra la glucosa y sacarosa con los coeficientes de difusividad más bajos, esto se le atribuye a que durante la deshidratación osmótica se formó una capa sobre la superficie dificultando la salida del agua disminuyendo el coeficiente de difusividad y afectando directamente a la velocidad de secado.

TABLA 9

DIFUSIVIDADES DE LAS MUESTRAS DURANTE EL SECADO

Tratamiento	Período Constante	Desviación Estándar	Período Decreciente	Desviación Estándar
Natural	0.0133	+/- 0.0021	0.0140	+/- 0.0063
Metabisulfito	0.0106	+/- 0.0029	0.0085	+/- 0.0018
Escaldado	0.0096	+/- 0.00324	0.0069	+/- 0.00409
Glucosa	0.0055	+/- 0.00056	0.0036	+/- 0.00018
Sacarosa	0.0020	+/- 0.000318	0.0016	+/- 0.000283

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

Una vez finalizado el diseño de experimento (Anexo F y G), se obtiene un valor p=0, el cual nos indica que sí existe influencia significativa sobre la variable de respuesta. Además, para tener una idea más clara de las variables, se desarrolló un diagrama de cajas (Fig. 18), y se puede concluir que cada uno de los pre-tratamientos ejerce un efecto significativamente diferente, e influyen de manera individual en la variable de respuestas.

1 = Sin pre-tratamiento

2= Metabisulfito

3= Escaldado

4= D.O. Glucosa

5= D.O. Sacarosa

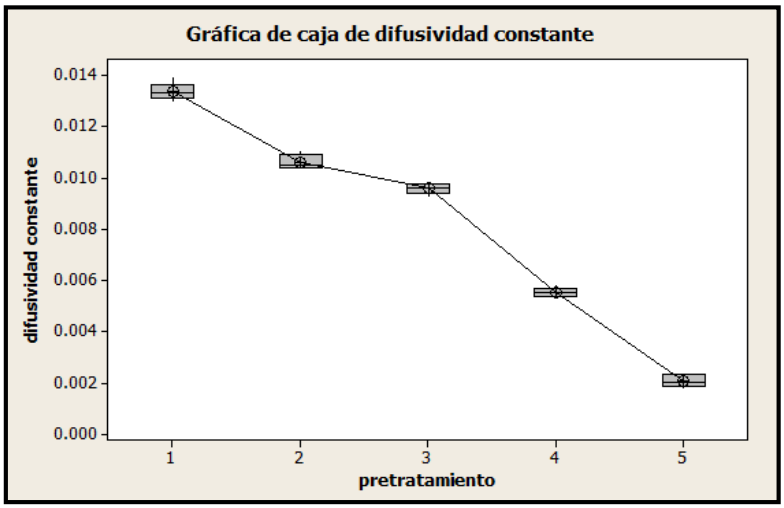


Fig. 18 Diagrama de cajas, difusividad de la piña

3.4. Efecto de los pre-tratamientos en las características físicas y sensoriales de la piña deshidratada.

Uno de los mayores cambios físicos que sufre la piña es el encogimiento. Como se observa en la tabla 10 las muestras que presentaron un cambio menor en su apariencia fueron las sometidos al tratamiento preliminar de deshidratación osmótica, esto se debe a que la mayor parte del encogimiento ocurre durante la deshidratación osmótica y de esta manera el encogimiento en el secado es mínimo, ya que al disminuirse el contenido de agua y reducirse el diametro de los poros es más dificil eliminar el agua.

TABLA 10.

Encogimientos Promedios.

Metabisulfito	*67.93%*	*+/- 0.0548*
Escaldado	*60.76%*	*+/- 0.0374*
Natural	*53.13%*	*+/- 0.0784*
Glucosa	*46.98%*	*+/- 0.0786*
Sacarosa	*45.43%*	*+/- 0.0391*

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

El secado con el pre-tratamiento de Metabisulfito presentó el mayor encogimiento, esto se da por la formación de numerosas uniones Van Der Walls, que atraen muchas moléculas de agua, haciendo de estas uniones débiles y de esta manera se facilita la migración del agua durante el secado. Por ello, al eliminarse más agua la reducción del tamaño será mayor.

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

La piña que no recibió ningún tratamiento preliminar, al no sufrir ningún cambio en su estructura, la cantidad de agua disponible a eliminar se encuentra casi en igual proporción que el agua ligada, esto hace que al final del secado el encogimiento sea considerable.

Una vez finalizado la experimentación (Anexo H), se analizó el p, cuyo valor es 0, con el cual se concluye que sí existe influencia significativa sobre la variable de respuestas.

Analizando las muestras entre sí en el diagrama de cajas (Figura 19) se observa que entre las muestras dos (Glucosa) y tres (Sacarosa) no existe diferencia significativa, indicándo que poseen un efecto similar; ocurriendo el mismo efecto entre las muestras cuatro y cinco, que son escaldado y metabisulfito respectivamente.

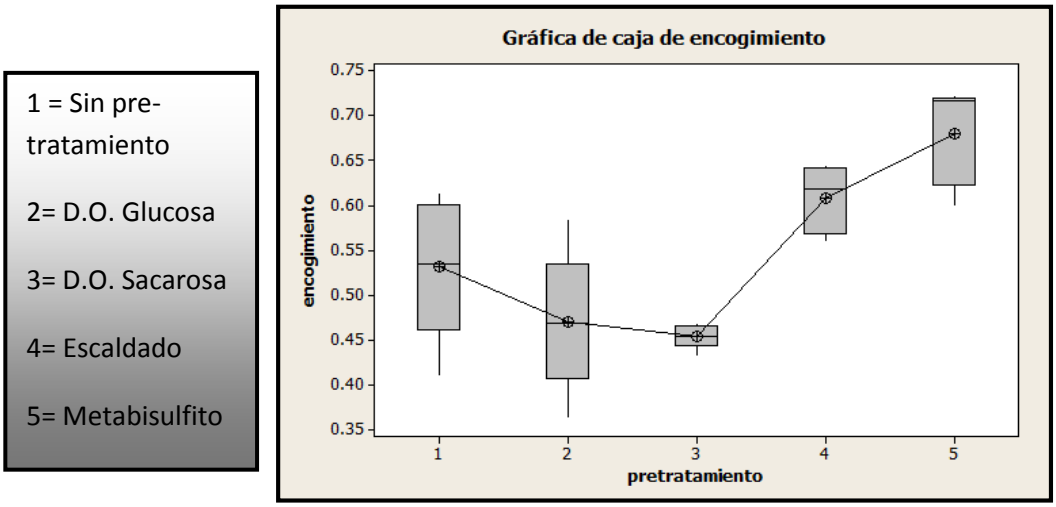


Fig. 19. Diagrama de cajas, encogimiento

Análisis Sensorial

Para el análisis sensorial se trabajó con una prueba hedónica de 9 puntos (Anexo J), la cual se realizó a 30 personas con el perfil de los posibles consumidores con el fin de obtener un número considerables de repuestas para el posterior análisis de varianza

Una vez realizado el análisis sensorial se tabularon los datos con el objetivo de conocer la preferencia y gustos de nuestros posibles consumidores, en la figura 20 se muestran las tendencias de los encuestados.

Como se puede observar en la gráfica las muestras de mayor preferencia fueron las piñas secas que recibieron un tratamiento preliminar de deshidratación osmótica tanto con glucosa como con sacarosa; mientras que las muestras que tuvieron menor preferencia fueron las piñas secas sin tratamiento alguno y las que pasaron por algún tratamiento.

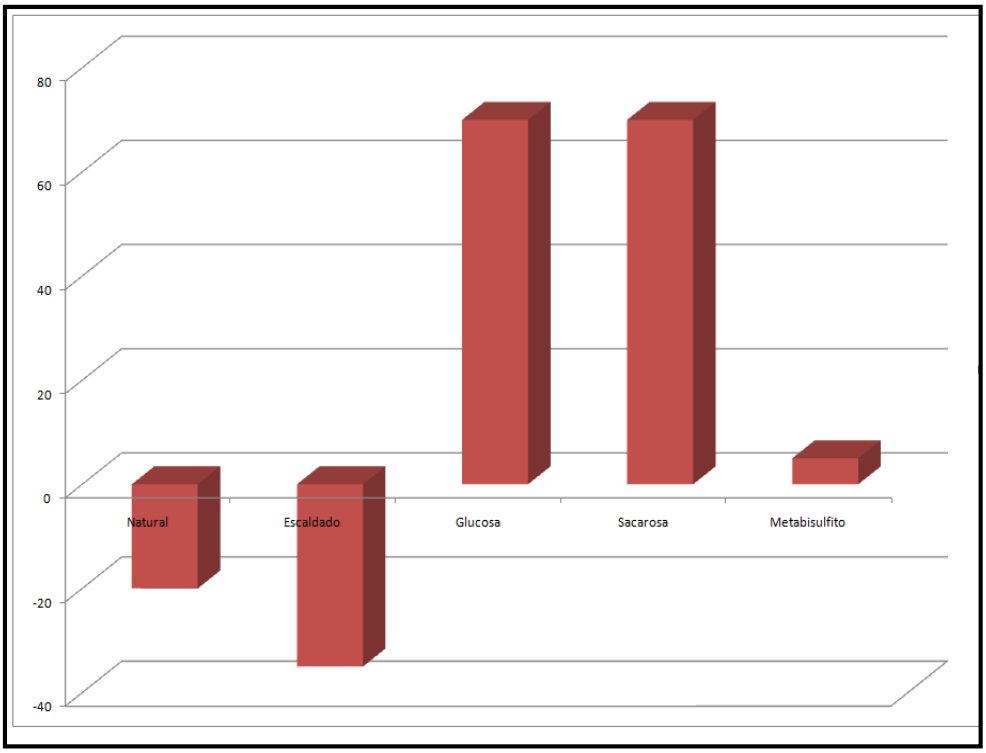


FIG.20. Tendencia de los consumidores

Una vez finalizado las tendencias de los consumidores se procedió al análisis de varianza (Tabla 11) en el cual se pudo concluir mediante el valor de las F que existe diferencia significativa entre los pre-tratamientos.

TABLA 11.
F calculadas

F calculadas	
Fv =	56.449505
Fj =	1.42574257

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

3.5. Efecto de los pre-tratamientos en la estabilidad de la piña deshidratada.

Utilizando la Ec. 7 y 8 se calculó la vida útil del producto, con el cual se puedo comprobar que guarda una relación con las monocapas, ya que mientras mayor sea el contenido de humedad en la monocapa la, vida útil aumenta.

Una vez que se obtuvieron los datos de vida útil, se analizaron mediante un diseño experimental (Anexo I), en el cual se pudo observar que no hay diferencia significativa entre la muestra 1 (Natural) y la muestra 2 (Glucosa), de la misma manera que sucede entre la muestra 3 (Sacarosa) y la muestra 4 (Escaldado). No así, que sí existe diferencia significativa entre las demás muestras (Figura 21).

1 = Sin pre-tratamiento

2= D.O. Glucosa

3= D.O. Sacarosa

4= Escaldado

5= Metabisulfito

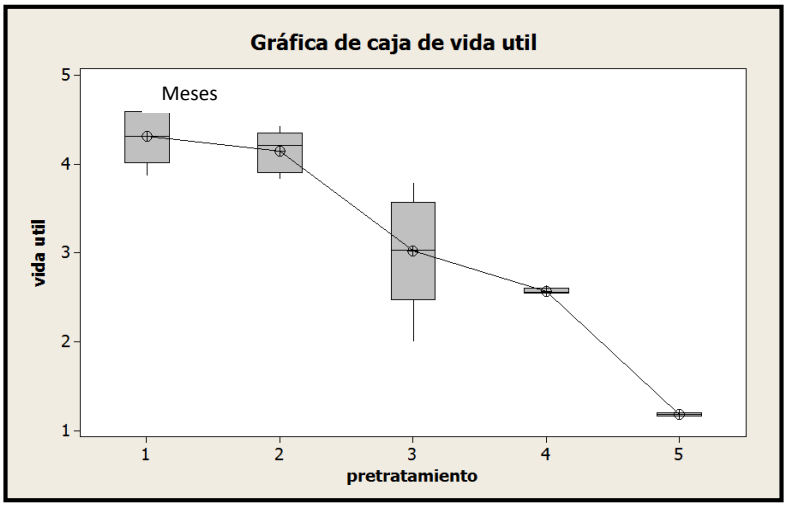


Fig. 21 Diagrama de cajas, vida útil de la piña

Además, analizando el p obtenido en el diseño experimental podemos concluir que si existe efecto del factor sobre la variable de respuesta.

Por otro lado, como se puede observar en la tabla 12 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 las de glucosa 4.15 meses y natural 4.31 meses.

TABLA 12. VIDA ÚTIL

TRATAMIENTO	Vida útil	Desviación Estándar
Natural	4.31 meses	+/- 0.314
Glucosa	4.15 meses	+/- 0.236
Sacarosa	3.02 meses	+/- 0.657
Escaldado	2.57 meses	+/- 0.036
Metabisulfito	1.18 meses	+/- 0.016

Elaborado por: Enrique Buestán B., Gabriel España C., 2009

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

1. Se logró comprobar con este Proyecto de Graduación que al aplicar los distintos tratamientos previos al secado, se ve afectada la vida útil del producto final, de manera significativa en el escaldado y con el uso de antioxidantes, disminuyéndola en un 40% y 73% respectivamente.

2. Al sumergir la piña en soluciones hipertónicas para realizar la deshidratación osmótica, se mejoraron las características sensoriales por el ingreso de solutos. Sin embargo, la velocidad de secado disminuye, debido a que este pre-tratamiento afecta

la estructura de la fruta, disminuyendo las dimensiones y a la vez reduciendo el diámetro de los poros y formando una pequeña capa de azúcar alrededor de la fruta, lo cual impide que durante el secado haya una rápida migración de agua.

3. Se pudo comprobar que el metabisulfito alcanzó la mayor velocidad de secado comparando con los demás pre-tratamientos, debido a que se forman enlaces Van Der Walls, permitiendo así que haya una facilidad para la migración de agua. Sin embargo, este pre-tratamiento afecta las características sensoriales del producto final, especialmente el sabor.

4. A pesar de no utilizar el escaldado como pre-tratamiento para inactivar enzimas, ayudó a obtener una velocidad de secado alta, aumentando el diámetro de los poros, permitiendo de esta manera que haya una facilidad de migración de agua.

5. Para el desarrollo del análisis del coeficiente de transferencia de masa se debe tomar en cuenta otras variables, como temperatura y velocidad de secado.

BIBLIOGRAFÍA

1. PAVINEE INAC - HOTY. WATER MOBILITY AND ITS RELATION TO FUNCTIONALITY OF SUCROSE – CONTAINING FOOD SYSTEMS. 1993. 134 – 140.

2. LERICI C.R. - PINNAVAIA G., M DALLA ROSA, AND BARTOLUCCI L. OSMOTIC AGENTS ON DRYING BEHAVIOR AND PRODUCT QUALITY. JOURNAL FOOD SCIENCE. 1985. 1217 – 1219.

3. SOTO GENINA P., TESIS DOCTORAL, CINVESTAV 2002.

4. CHAVEZ MARÍA G - AVANZA J. R., EVALUACIÓN DE PRE TRATAMIENTOS EN EL SECADO CONVECTIVO DE BERENJENAS. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE COMUNICACIONES CIENTIFICAS Y TECNOLÓGICAS. 2006. 1-4

5. BOLIN, H.R. & HUXSOLL, C.C. EFFECT OF OSMOTIC AGENTS AND CONCENTRATION ON FRUIT QUALITY. J. FOOD. (1983). SCI., 48, 202-205.

6. ROBERT E. TREYBAL. OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA – SECOND EDITION. PP.738.

7. FENNEMA, O.R., ED. FOOD CHEMISTRY - SECOND EDITION, REVISADO Y EXPANDIDO. NEW YORK: MARCELL DEKKER, INC. (1985).PP. 46-50.

8. ROBERT E. TREYBAL. OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA – SECOND EDITION. PP.729.

9. PONTING, J.D., WATTERS G.G., FORREY RR. JACKSON R, STANLEY W.L. 1966. OSMOTIC DEHYDRATION OF FRUITS. FOOD TECHNOL. 20: 125-128.

10. CUBERO, N. MONTEFERRER, A. VILLALTA, J. 2002. ADITIVOS ALIMENTARIOS EDITORIAL MUNDI – PRENSA LIBROS, S.A. MADRID.

ANEXO A

Ficha de evaluación, Humedad Crítica

PRODUCTO:
NOMBRE: FECHA:

Marque con una x en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

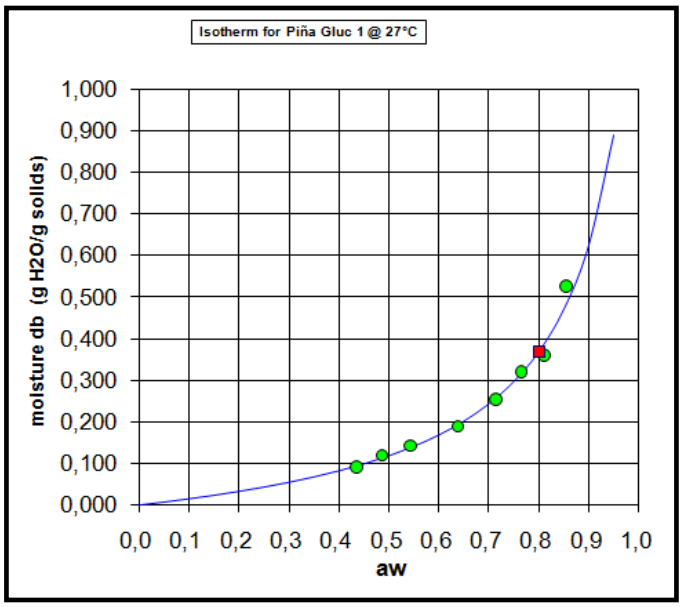
MUESTRAS		**NATURAL**				
		Min 0	Min 2	Min 4	Min 6	Min8
ME GUSTA	Mucho					
	Ligeramente					
Ni me gusta ni me disgusta						
ME DISGUSTA	Ligeramente					
	Mucho					

COMENTARIOS:

ANEXO B

Isoterma de Secado con D.O. Glucosa.

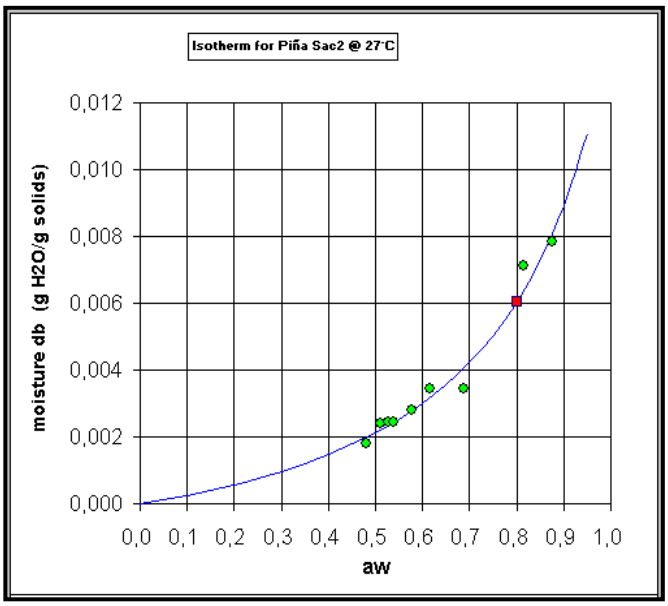
BET	***0.13***
GAB	***0.12***
R^2	***0.98***



ANEXO C

Isoterma de Secado con D.O. Sacarosa.

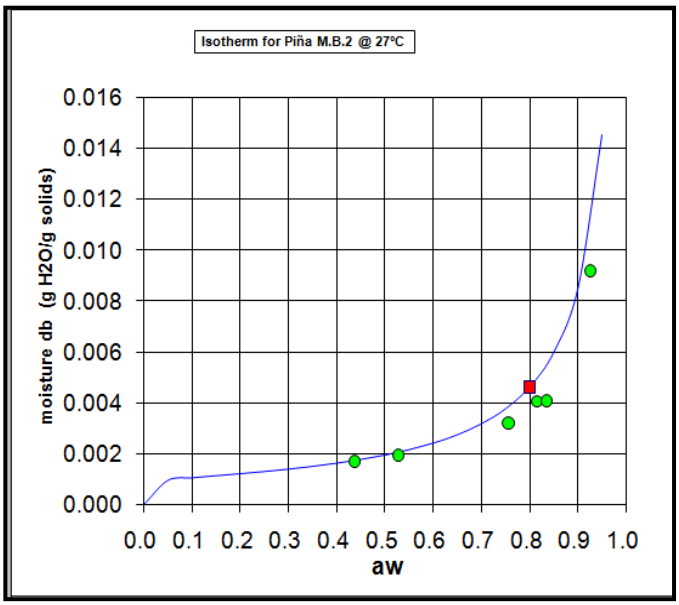
BET	***0.12***
GAB	***0.18***
R^2	***0.97***



ANEXO D

Isoterma de Secado con metabisulfito.

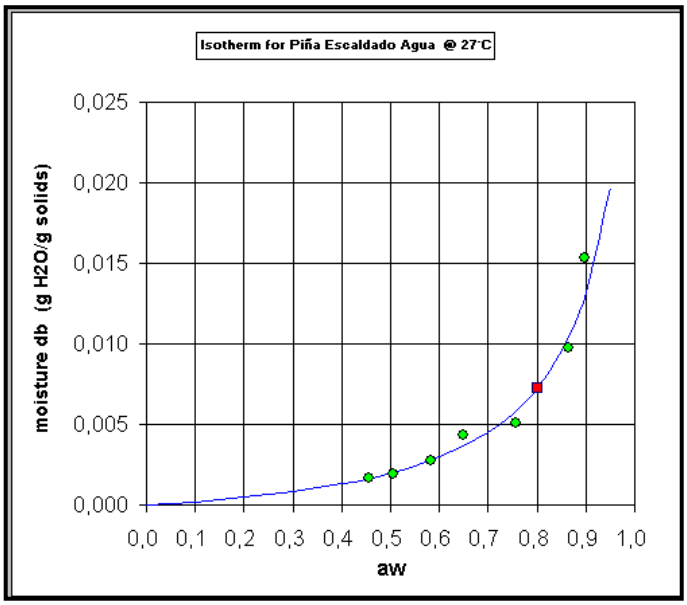
BET	***0.08***
GAB	***0.10***
R^2	***0.83***



ANEXO E

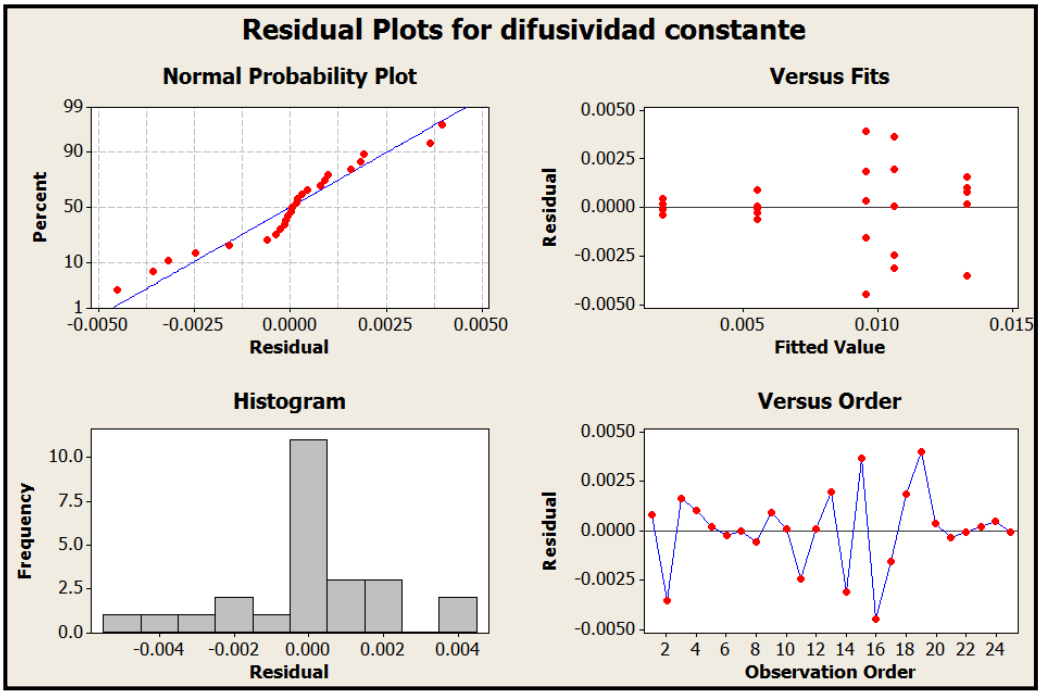
Isoterma de Secado con escaldado en agua.

BET	***0.11***
GAB	***0.28***
R^2	***0.95***



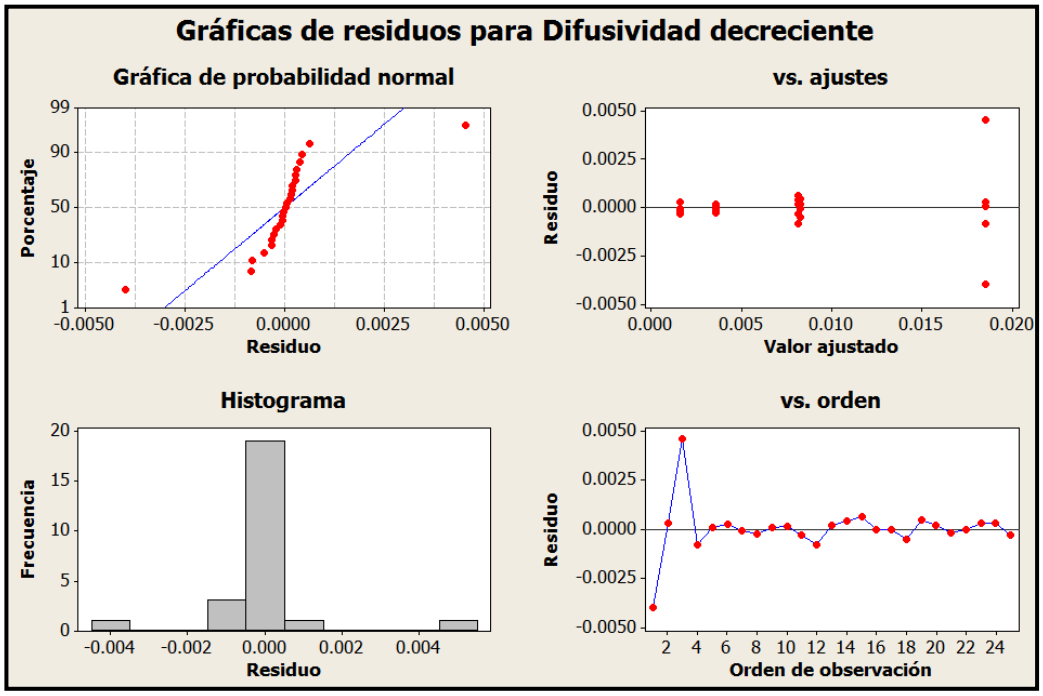
ANEXO F

Gráfica de residuos cuatro en uno, Difusividad Constante.



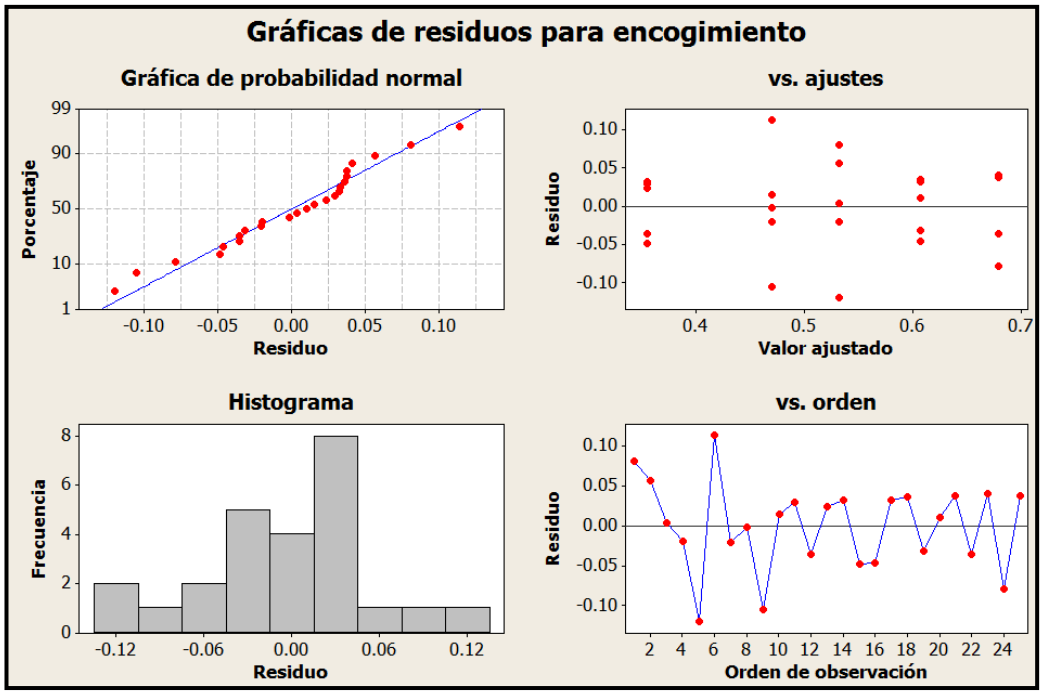
ANEXO G

Gráfica de residuos cuatro en uno, Difusividad Decreciente.



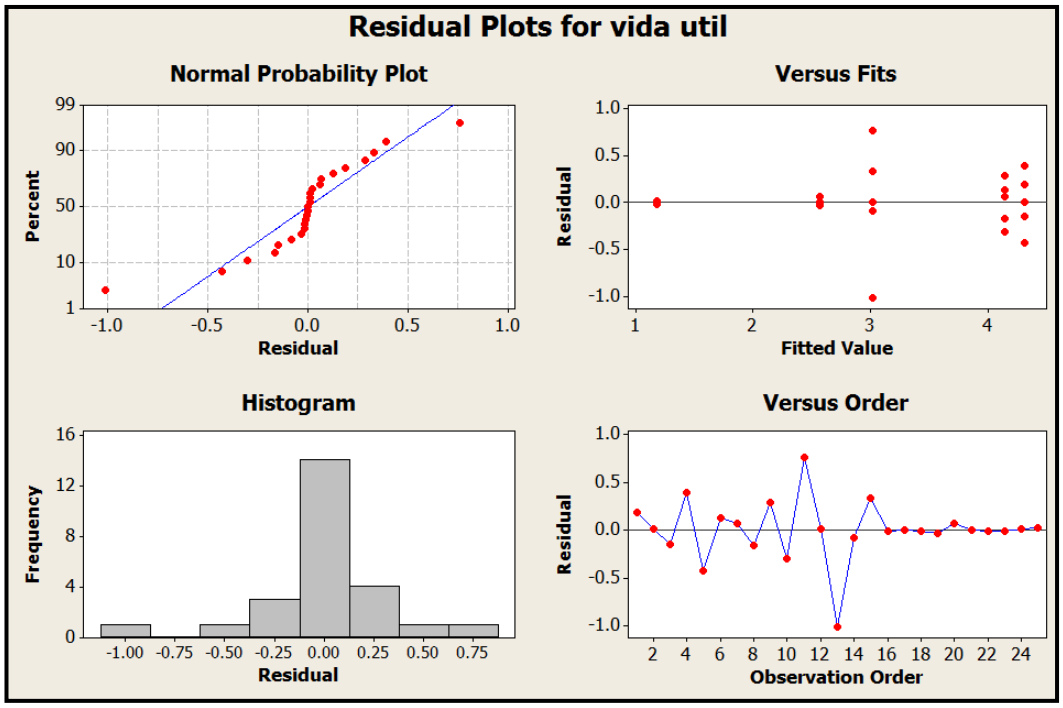
ANEXO H

Gráfica de residuos cuatro en uno, Encogimiento.



ANEXO I

Gráfica de residuos cuatro en uno, Vida Útil.



ANEXO J

Ficha de evaluación, Prueba Hedónica

PRODUCTO:
NOMBRE: FECHA:

Marque con una x en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

MUESTRAS		**NATURAL**	**GLUCOSA**	**SACAROSA**	**ESCALDADO**	**METABISULFITO**
		6224	3500	3831	5590	3749
ME GUSTA	Muchísimo					
	Mucho					
	Bastante					
	Ligeramente					
Ni me gusta ni me disgusta						
ME DISGUSTA	Ligeramente					
	Bastante					
	Mucho					
	Muchísimo					

COMENTARIOS: