

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



**Establecer nuevas variables de deshidratación de
piña con el fin de obtener un producto aceptable
para exportación**

Trabajo de graduación presentado por Karla María Arias Rodríguez
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2016

**Establecer nuevas variables de deshidratación de
piña con el fin de obtener un producto aceptable
para exportación**

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



**Establecer nuevas variables de deshidratación de
piña con el fin de obtener un producto aceptable
para exportación**

Trabajo de graduación presentado por Karla María Arias Rodríguez
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,

2016

Vo. Bo.

(f)

Ing. Gamaliel Zambrano

Terna examinadora

(f)

Ing. Gamaliel Zambrano

(f)

Ing. Esteban Rodríguez

(f)

Ing. Henry Cukier

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de enero de 2016

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios, a la Virgen y a San Judas Tadeo, por darme la fuerza para poder terminar la tesis.

De igual forma agradezco a mi mamá, abuelos y hermana; por darme siempre su apoyo incondicional y por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi esposo, por brindarme su apoyo en los momentos difíciles y motivarme constantemente para concluir mi proyecto de tesis.

Al ingeniero Gamaliel Zambrano, por su apoyo total y la revisión constante para la fabricación de la tesis.

Al licenciado Carlos Raúl Montes, por abrirme las puertas de su empresa para la realización de mi tesis.

A María Elvira Calán, por ser mi mano derecha durante todo este tiempo, le agradezco por su ayuda desinteresada, por estar ahí cuando siempre lo necesite y por los buenos momentos que convivimos.

Y por último, le quiero agradecer a mi hija por su afecto y su cariño que son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo y de mis ganas de buscar lo mejor para ella. Aún a su corta edad me ha enseñado y me sigue enseñando muchas cosas de esta vida. Le agradezco por ayudarme a encontrar un lado dulce a la vida. Fue mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto.

Tabla de contenido

Agradecimientos	i
Lista de tablas	iv
Lista de ilustraciones	vi
Resumen	viii
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos.....	3
A. General:	3
B. Específicos:.....	3
IV. Marco teórico	4
A. Deshidratación o secado	4
B. Piña:	4
C. Datos de exportación	7
D. Proceso de secado	8
E. Efectos colaterales del secado.....	11
F. Comportamiento de los materiales	11
G. Secadores	11
H. Secado en las frutas	12
I. Balance de masa y energía	13
V. Proceso de secado en la empresa <i>Alimentos Campestre</i>	15
VI. Materiales y métodos	17
A. Localización del estudio	17
B. Material y equipo	17
VII. Procedimiento	18
VIII. Procedimiento prueba adicional	19
IX. Análisis sensorial.....	20
A. Presentación de las muestras.....	20
B. Análisis de las evaluaciones.....	20
X. Resultados.....	21
XI. Discusión	23

XII. Gráficos.....	26
A. Prueba	32
XIII. Conclusiones.....	37
XIV. Recomendaciones.....	38
XV. Bibliografía.....	39
XVI. Anexos.....	40
A. Características piña.....	40
Datos:.....	41

Lista de tablas

Tabla 1 Características físicas de la piña.....	5
Tabla 2 Características químicas de la piña.....	5
Tabla 3 Composición de la piña	6
Tabla 4 Variables balance de masa.....	13
Tabla 5 Variables balance de energía	14
Tabla 6 Resultados	21
Tabla 7 Análisis sensorial.....	21
Tabla 8 Porcentaje de humedad.....	21
Tabla 9 Combustible.....	21
Tabla 10 Balance de masa	22
Tabla 11 Balance de energía.....	22
Tabla 12 Características piña.....	40
Tabla 13 Humedad versus tiempo No.1	41
Tabla 14 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.1	42
Tabla 15 Velocidad de secado bandeja triangular No.1	42
Tabla 16 Humedad versus tiempo No.2	43
Tabla 17 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.2	44
Tabla 18 Velocidad de secado bandeja triangular	45
Tabla 19 Humedad versus tiempo prueba	45
Tabla 20 Velocidad de secado bandeja cuadrada Prueba	46
Tabla 21 Velocidad de secado bandeja triangular Prueba.....	46
Tabla 22 Puntaje análisis sensorial.....	46
Tabla 23 Análisis sensorial muestra No. 1	47
Tabla 24 Análisis sensorial muestra No. 2	47
Tabla 25 Análisis sensorial total.....	47

Tabla 26 Balance de energía No.1.....	48
Tabla 27 Balance de energía prueba.....	49

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Curva de humedad.....	8
Ilustración 2 Velocidad de secado	9
Ilustración 3 Diagrama de balance de masa	13
Ilustración 4 Dimensiones de las bandejas.....	15
Ilustración 5 Diagrama de deshidratador.....	16
Ilustración 6 Vista de perfil	16
Ilustración 7 Gráfica de color	26
Ilustración 8 Gráfica de textura	26
Ilustración 9 Gráfica de sabor.....	27
Ilustración 10 Gráfica de forma.....	27
Ilustración 11 Gráfica total	28
Ilustración 12 Porcentaje de humedad base húmeda No.1	28
Ilustración 13 Porcentaje de humedad base seca No.1	29
Ilustración 14 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.1	29
Ilustración 15 Velocidad de secado bandeja triangular No.1	30
Ilustración 16 Porcentaje de humedad base seca No.2.....	30
Ilustración 17 Porcentaje de humedad base seca No.2.....	31
Ilustración 18 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.2	31
Ilustración 19 Velocidad de secado bandeja triangular No.2	32
Ilustración 20 Porcentaje de humedad base húmeda prueba	32
Ilustración 21 Porcentaje de humedad base seca.....	33
Ilustración 22 Velocidad de secado bandeja cuadrada prueba	33
Ilustración 23 Velocidad de secado bandeja triangular prueba	34
Ilustración 24 Diagrama de bloques	35

Ilustración 25 Diagrama de flujo 36

Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar y analizar los efectos de la temperatura y humedad del aire en las características de la piña deshidratada. La deshidratación de alimentos es una de las Operaciones Unitarias más relevantes e importantes en el proceso de secado de los alimentos. Se propuso un procedimiento nuevo que consistió en variar la temperatura iniciando a 40°C hasta 65°C durante 25 horas, para luego observar los cambios en el producto final. Las características organolépticas fueron evaluadas por un panel sensorial no capacitado compuesto por 10 personas, donde se pudo observar que se tiene una preferencia del 86.25% por el producto con condiciones controladas, ya que tiene una mejor forma, sabor, textura y color. Se determinó que el gasto de combustible fue menor en el proceso mediante temperatura y tiempo controlado siendo este de 30.63 galones de gas propano para un lote de 1,836.25Kg de piña.

I. Introducción

La deshidratación de frutas con aire caliente es un método que permite la conservación de productos por eliminación de agua de la fruta a valores menores al 20% con actividad de agua menores al 0.6. Existen diferentes métodos para los procesos de deshidratación, aunque la más utilizada en la industria es por medio de aire caliente, debido a su sencillez y bajo costo de operación. Los beneficios de la deshidratación de un alimento es que la actividad microbiana y química se reduce debido a la baja actividad de agua.

La elaboración de la presente tesis surgió de la necesidad detectada en la empresa *Alimentos Campestres, S.A.* durante más de veinte años la empresa se ha dedicado a la deshidratación de frutas y verduras, siendo una empresa comprometida con la mejora continua y que busca aumentar la eficiencia de sus procesos, para mejorar el estándar de calidad de sus productos. Se planteó a gerencia la necesidad de evaluar la deshidratación de la piña, para ver las variables que se podían optimizar en el proceso, logrando de esta forma un producto con alta calidad para los consumidores. Se realizaron los estudios durante el año 2015, logrando concluir con éxito este proyecto, ya que se mejoraron las variables involucradas en el proceso de deshidratación de la piña, obteniendo un producto más aceptado en el mercado.

Esto fue de mucha satisfacción personal ya que permitió poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería química. De esta forma el presente trabajo muestra las mejoras que se realizaron al proceso. Por lo tanto, agradezco al Licenciado Raúl Montes por permitirme la confianza de estudiar a profundidad sus procesos y también agradezco al Ingeniero Gamaliel Zambrano por el tiempo dedicado a las revisiones del estudio realizado y el conocimiento transmitido para concluir satisfactoriamente el estudio.

II. Justificación

Alimentos Campestres S.A. es una empresa especializada en la deshidratación de frutas, su mercado principal se encuentra en supermercados, mercados y tiendas. Se tiene relación nacional y se exporta producto como rosa de jamaica y una mezcla de fruta deshidratada para la preparación de una bebida tradicional de Guatemala, conocida como ponche. Su mercado principal de exportación es México, Estados Unidos y Centroamérica.

Su producto estrella es la mezcla de frutas para ponche, pero debido a que es un producto estacional de la época navideña la planta se encuentra sin mayor movimiento los primeros seis meses del año. Por lo tanto, se ha buscado un producto que pueda ser trabajado durante todo el año, siendo la piña un producto que Guatemala tiene cosecha de enero a diciembre. La piña es un producto tropical, que es muy cotizado en países europeos, por lo que se tiene la necesidad de estudiar el proceso de deshidratación para poder ofrecer un producto que cumpla con los estándares de calidad de esta región. Pero actualmente la deshidratación de piña nunca se ha estudiado dentro de la empresa por lo que es importante su evaluación respecto a las variables con las que se trabaja, las cuales son tiempo de secado, temperatura y velocidad de secado, con el fin de obtener un procedimiento más eficiente para la deshidratación y producto con mejores características para el consumidor.

III. Objetivos

A. General:

Estudiar y analizar los efectos de la temperatura y humedad del aire en las características organolépticas de la piña deshidratada.

B. Específicos:

1. Determinar las condiciones actuales del proceso de deshidratación de piña, mediante gráficas de velocidad de secado y porcentaje de humedad.
2. Proponer nuevas condiciones para obtener un producto aceptable para exportación, realizando prueba con cambio en las variables de temperatura y tiempo de secado.
3. Realizar pruebas organolépticas mediante un panel sensorial para identificar los cambios del producto en las condiciones actuales versus un producto con condiciones controladas.
4. Construir gráficas de velocidad de secado y porcentaje de humedad para un proceso de deshidratación de piña con condiciones de tiempo y temperatura controlados.

IV. Marco teórico

A. Deshidratación o secado

El secado de sólidos consiste en separar cierta cantidad de agua de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones. (McCabe, 1987)

La deshidratación es un método importante para la preservación de alimentos, se disminuyen significativamente los costos de almacenamiento y distribución. Los alimentos deshidratados, hasta cierto grado de humedad, son preservados debido a que la actividad de agua se lleva hasta un nivel en el que la actividad microbiológica no puede ocurrir. (Toledo, 1991)

B. Piña:

La piña es una planta herbácea perenne originaria de África, el tallo florece solo una vez y muere después de fructificar, entonces un brote lateral toma el lugar de la planta madre.

Todos los tipos de piña son estériles en sí, por lo general no tienen semillas. Desarrolla semillas solo si se la fecunda por agentes externos. Por su naturaleza la piña es una planta xerófila, puede sobrevivir meses de sequía porque acumula e ingiere agua de lluvias, niebla y de rocío a través de sus hojas.

Las hojas son largas y angostas, situadas en espiral sobre un tallo corto formando una roseta. Son hojas espinosas, de color verde en el haz y plateado en el envés debido a su vellosidad.

La piña es sensible a las heladas, por lo que necesita un clima soleado y se adapta muy bien a la sequía. En cuanto al suelo necesita un terreno esponjoso, fresco, bien aireado y permeable.

Planta: la piña puede crecer hasta una altura de 90cm y extenderse lateralmente de 1.2 – 1.5 m si las condiciones de cultivo lo permiten. Tiene un tallo cubierto de hojas que no dejan verlo. El sistema de propagación es por brotes. La parte interna o corazón está lleno de vasos vasculares y fibras que alimentan las flores y las brácteas, puede ser comestible produciendo ardor en la boca.

Inflorescencia y fruto: El fruto proviene de una inflorescencia que se forma sobre la prolongación del tallo. Cuando se siembra un bruto, a los 15-22 meses se forma un solo fruto.

Características del fruto maduro: No contiene almidón por lo que el contenido de azúcar aumenta muy poco después de recolectado el fruto, en cambio sobre la planta el contenido de azúcar aumenta considerablemente de un día para otro. El contenido de azúcar cambia de 8-14% y ácidos de 0.1-1.5%. (Egas Sevillano, 2011)

Tabla 1 Características físicas de la piña

Característica	Cantidad
Peso (Kg)	1.97-2.02
Diámetro (cm)	9.68-10.68
Longitud (cm)	15.30-16.58
Longitud corona (cm)	1.68-2.0
Profundidad ojos (cm)	0.95-1.23
Diámetro Central (cm)	3.33-3.55
Porcentaje Pulpa	61.8-65.93
Porcentaje Corteza	31.88-34.05
Porcentaje Jugo	49.6-52.78
Acidez %	0.52-0.58

Tabla 2 Características químicas de la piña

Características	Cantidad
Grados Brix	10.8-17.5
% de ácido cítrico	0.6-1.62
Cenizas %	0.3-0.42
Agua %	81.2-86.2
Fibra %	0.3-0.61
Nitrógeno %	0.045-0.115
Extracto etéreo %	0.2
Esteres (ppm)	1.00-250
Pigmentos (ppm de carotenos)	0.2-2.5
Glucosa (% en peso)	1.00-3.20
Fructosa (% en peso)	0.6-2.3
Sacarosa (% en peso)	5.90-12.0
Almidón %	<0.002
Celulosa %	0.43-0.54
Hexosas %	0.1-0.15
Pentosas %	0.33-0.43

1. Composición de la piña La piña es una fruta que contiene un alto porcentaje de vitaminas y minerales. También contiene ácidos, los cuales le dan el grado de acidez que contiene este fruto.

Tabla 3 Composición de la piña

Vitaminas	Minerales	Ácidos
vitamina A	Cobre	Cítrico
vitamina B1	Potasio	Fólico
vitamina B6	Magnesio	Málico
Vitamina C	Manganeso	Oxálico
Vitamina E	Yodo	

Para reducir el daño del cultivo a la hora de la siembra es necesario tomar en cuenta:

- Que el clima sea húmedo y que la temperatura oscile entre los 25 y 32°C.
- La zona debe encontrarse entre los 0 y los 1500 metros sobre el nivel del mar.
- El terreno debe contar con luminosidad óptima para que las piñas sean brillantes y atractivas a la vista.
- El suelo debe contar con suficiente nitrógeno, óxido de potasio, óxido de calcio y óxido de magnesio. Si no se cuenta de forma natural, se puede nutrir artificialmente con estos componentes el suelo.
- El suelo debe contar con un pH alrededor de 5.5.
- Los fertilizantes no se deben aplicar directamente a los frutos. Si no que se deben aplicar regados o en forma sólida, directamente al suelo. (Estrada, 2010)

Existe gran variedad de piñas, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

2. Cayena Lisa: Sus frutos son de forma cilíndrica, tiene alrededor de 2Kg de peso, la pulpa es de color blanco y las hojas del fruto no tienen espinas. Se utilizan para envasado debido a su buena calidad. Se cultiva en la zona de Retahuleu, Escuintla y Suchitepequez. Con una maduración entre junio y julio. Se tienen las siguientes variedades:

- Cayena lisa
- Hawaiana
- Champaka
- Esmeralda
- Hilo

3. Española roja: Sus frutos son pequeños, ovalados, tiene alrededor de 1Kg de peso. Su pulpa es de color amarillo pálido y se utiliza para exportación en fresco. Su pulpa es de sabor dulce-ácido. Soporta el transporte prolongado. Cultivada también en Retahuleu, Escuintla y Suchitepequez. Se tienen las siguientes variedades:

- Singapore Spanish
- Selangor Verde
- Castilla
- Cabezona

4. Montúfar: Es de forma cónica y de color verde, pesa alrededor de 1-1.5Kg. Tiene pulpa amarilla y se recomienda para el consumo fresco. Tiene un sabor dulce y muy jugosa. Tiene maduración entre junio, julio y agosto. Se cultiva en la zona de Navajoa y Tenedores del departamento de Izabal. (Pac, 2005)

En Guatemala la piña se cosecha principalmente en los meses de mayo a agosto. La piña deshidratada se deja usualmente con un contenido de humedad del 30-35%. Las temperaturas altas de deshidratación causan una pérdida de sabor y color, y aunque existan tratamientos para evitar el cambio de color, siempre varía un poco.

Si se quiere deshidratar la piña, se escoge una madura y no lastimada. Se lava con agua fría, se pela, se le quitan los ojos, se corta y se seca. (De León, 1978)

C. Datos de exportación

La piña es el segundo fruto más comercializado en el mundo. El consumo de frutas tropicales en países desarrollados ha incrementado la demanda mundial de piña desde mediados de los años ochenta.

Cuadro 2
Exportaciones Mundiales de Piña. Principales
Países Exportadores. 2007

País	TM	Particip.	
		%	US\$
Costa Rica	1.353.027	60%	486.860
Filipinas	270.054	12%	147.807
Ecuador	99.581	4%	33.580
Costa de Marfil	96.558	4%	38.722
Estados Unidos	89.269	4%	88.526
Panamá	61.210	3%	42.855
Honduras	52.965	2%	20.361
Guatemala	47.460	2%	12.872
Brasil	36.764	2%	17.634
México	32.256	1%	12.845
Otros	106.947	5%	47.689
Mundo	2.246.091	100%	949.751

Elaborado por SIIM/CNP con datos de FAO.
No incluye reexportaciones europeas.

Para poder exportar fruta a los Estados Unidos, la fruta deshidratada debe cumplir con las normas de salud pública y estándares de calidad, como con las regulaciones sobre rotulado. Las normas de salud pública se pueden encontrar en “Good Manufacturing Practices”. Para la inspección de la planta y certificar que son aptos para la exportación de la fruta se encargan la división de Productos Procesados (Processed Products Branch) de USDA. (Correa, 2011)

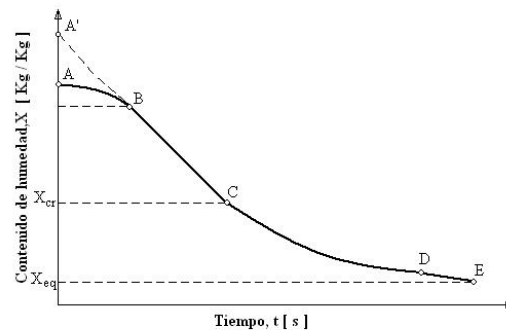
D. Proceso de secado

Durante una operación de secado se lleva a cabo la transferencia de un líquido desde un sólido húmedo hasta una fase gaseosa no saturada.

El estudio del secado y el cálculo del tamaño o condiciones del secador a usar dependen mucho del material a tratar. También se deben de tomar en cuenta los factores físicos que afecta al producto como la temperatura, velocidad de aire, geometría y otros.

Cuando se quiere estudiar el efecto del secado en cierto material de interés, a ciertas condiciones operacionales, se lleva a cabo un secado experimental; ya con este se consideran las propiedades físicas del material antes y después del secado y se relacionan las variables de contenido de humedad y tiempo de secado para estudiar el comportamiento. Se debe realizar una gráfica de humedad en base seca versus tiempo de secado.

Ilustración 1 Curva de humedad

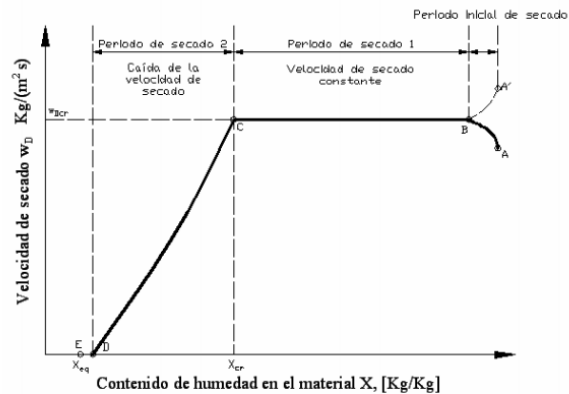


(Davila, 2000)

En la curva se puede observar que la humedad disminuye en el sólido mientras el tiempo de secado avanza.

Para el secado se puede llevar unas 4 horas remover el 90% de la humedad del producto, pero también otras 4 horas remover el 10% de la humedad restante. La humedad 0 nunca se logra en condiciones de operación.

Ilustración 2 Velocidad de secado



(Davila, 2000)

También se tiene la curva de velocidad de secado, donde se ve que el proceso no es continuo, ya que al haber contacto entre la muestra y el medio de secado, la temperatura del sólido y la velocidad de secado pueden aumentar o disminuir para alcanzar la estabilidad. La forma de la curva varía dependiendo del material a secar, el tipo de secador, condiciones de secado (temperatura, humedad, velocidad del aire, grueso del material, entre otros).

La parte AB de la curva es un período de calentamiento del sólido, donde aún no ha alcanzado la estabilidad con el medio.

Cuando se logra la estabilidad, la temperatura del sólido es igual a la del bulbo húmedo del medio de secado. Las temperaturas dentro del sólido también se igualan y la velocidad de secado permanece constante. Este es el período de velocidad constante que es de BC, donde la superficie expuesta está saturada de agua y la cantidad de humedad que se le está transfiriendo al gas es remplazada continuamente por el movimiento del líquido. La velocidad de secado está controlada por la velocidad de transferencia de masa a la superficie que se está evaporando. La temperatura de la superficie se mantiene constante, ya que el calor que llega es el llevado por la humedad que viene de la superficie caliente. El período de velocidad constante se termina cuando el sólido alcanza un contenido crítico de humedad, llega al punto C.

Luego la temperatura de la superficie aumenta y la velocidad de secado recae con rapidez. Este es el período de velocidad descendente, el segmento CD. Es el segundo período de secado. Donde la humedad crítica depende de la velocidad de secado, el grueso del material, los factores que influyen en el movimiento de la humedad. La humedad crítica aumenta al aumentar la velocidad de secado y al aumentar el grosor de la masa a secar. Se empieza a agotar el líquido de la superficie, por lo que la parte superficial que está saturada se seca por transferencia convectiva de calor. El vapor en este momento se difunde desde el interior hasta la superficie y continúa la difusión a la corriente de gas. Se llega a un punto donde la superficie evaporada ya no está saturada y la evaporación se mueve hacia el sólido y se llega a una humedad de equilibrio.

El punto E, es cuando la presión de vapor en el gas de entrada de secado es igual a la presión de vapor sobre el sólido. Es cuando se llega al contenido más bajo de humedad que se puede obtener.

- ***Equilibrio en el contenido de humedad***

La humedad que está en equilibrio con el vapor contenido en el agente de secado. Este es el mínimo contenido de humedad en la cual el material puede teóricamente ser secado.

- ***Contenido crítico de humedad***

Es una humedad característica, que ocurre cuando se da un cambio en las condiciones de secado, pasando de la velocidad constante a la velocidad decreciente.

- ***Contenido máximo de humedad***

Es el contenido máximo de humedad en el cual todos los vacíos están llenos de humedad.

- ***Contenido inicial de humedad***

Es el contenido de humedad al inicio del secado.

- ***Contenido máximo de humedad higroscópica***

Es el contenido de humedad del sólido cuando la humedad del ambiente está saturada.

- ***Tipos de migración de humedad***

Se tienen los siguientes tipos de humedad

- ***Transporte por difusión líquida***

En este caso se asume que la velocidad de transferencia de la humedad líquida es proporcional al gradiente de la concentración de humedad dentro del material.

- ***Transporte por difusión de vapor***

Se da una transferencia de humedad por vapor en el material. Se da cuando la dimensión característica de los espacios del aire libre es mayor a 10^{-7} m.

- ***Transporte por efusión***

Se da cuando el espacio del aire en un material capilar-poroso es menor a 10^{-7} m.

- ***Transporte por termodifusión***

Es la transferencia de humedad debido al cambio de temperatura en una dirección tomando en cuenta el coeficiente de termodifusión.

- ***Transporte por presión ósmica***

Es una función del contenido de humedad en el material.

- ***Transporte debido al gradiente de presión***

Este tipo de transporte se da por ciertas presiones internas que varían debido a que la humedad se evapora, cambia de lugar o ha sido transportada. La humedad debe compensar el cambio de presión y se genera el transporte. (Perez, 2000).

E. Efectos colaterales del secado

Cuando el secado no se realiza apropiadamente, se presentan daños que llegan a afectar el producto, entre los cuales se encuentran:

- Endurecimiento, este se da cuando la velocidad de secado es muy alta y el sólido forma una capa interior húmeda y una capa exterior seca e impermeable que impide la evaporación y el secado.
- Deshidratación química, que se da con la eliminación de agua de la estructura molecular del producto, debido también por una alta velocidad del secado.
- Desnaturalización, es un daño que sufren las proteínas en el secado. (Huerta Ochoa, 2009)

F. Comportamiento de los materiales

Se pueden dividir en dos grupos, por su comportamiento en el secado:

1. Granulares o cristalinos. Tienen humedad en los espacios entre partículas o en los poros de poca profundidad de superficies abiertas. El movimiento de la humedad es libre y se da por fuerzas gravitacionales y de tensión superficial. Como ejemplo se tiene: las rocas trituradas, catalizadores.

2. Orgánicos. Son materiales amorfos, o en forma de gel. Retienen humedad en la estructura sólida o se queda atrapada entre las fibras o poros que contienen. El movimiento de la humedad es lento y se da por difusión del líquido a través de la estructura sólida. La mayor parte del proceso de secado está controlado por la velocidad de difusión del líquido a través del sólido.

Con estos materiales se obtienen humedades críticas un poco altas, ya que la gran cantidad de agua se mantiene atrapada en la estructura y la presión de vapor se reduce mucho, además las capas de la superficie tienden a secarse antes que el interior. Se tiene como ejemplos: cereales, almidón, frutas, detergentes y otros alimentos. (Treybal, 1980).

G. Secadores

La configuración básica de un secador consiste de un sistema que genere aire caliente, el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas para generar calor, también debe de contar con un colector y un alimentador

1. Componentes de un secador

a. Generador de aire. Deben contar con un sistema que permita la entrada de aire a diferentes velocidades de flujo, por lo que se utilizan ventiladores o motores en los sistemas de refrigeración y extractores de aire, que trabajan de forma inversa como generadores de aire.

b. Calefactor. El aire es calentado cuando se combina con gases de combustión de escape, esto se da en calefactores directos. Pero también se tienen calefactores indirectos donde el producto es calentado a través de placas de resistencias eléctricas.

c. Alimentador. Los alimentadores más comunes utilizados en los secadores para sólidos húmedos son los transportadores de tornillo, mesas rotantes y bandejas vibratorias.

2. Tipos de secadores

a. Secador de horno. En este se puede deshidratar granos, frutas y vegetales. Consisten en una construcción de dos secciones con un piso con ranuras que separa la sección de secado con la sección de calefacción. El producto se coloca en la placa y el aire caliente es llevado de la sección baja hacia la sección de secado a través de la placa.

b. Secador de cabina o bandeja. Se caracteriza por tener una serie de bandejas en donde se coloca el alimento. Las bandejas se ingresan dentro de un comportamiento del secador en donde es expuesto al aire caliente. El secador cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas a la entrada que permiten generar aire caliente el cual es llevado a través de la sección de bandejas.

c. Secadores de túnel. Se caracterizan por tener arriba de 24 metros de largo y sección rectangular de 2m x 2m, consiste en una cabina equipada con rieles para mover unas cajoneras a lo largo de la cámara de secado. Un sistema de calefacción calienta el aire que entra en la cámara el cual circula a través de las cajoneras con alimentos.

d. Secadores con cinta transportadora. Es similar al secador de Túnel, la diferencia es que el producto es transportado por medio de un sistema de cinta.

e. Secador de bandeja para laboratorio. Este secador de alimentos al igual que los anteriores tiene como función principal el deshidratar el producto y llevar el vapor de agua fuera del mismo. La diferencia de este secador con los demás está en el tamaño y la facilidad de manipulación. Ya que el objetivo es que se puedan utilizar en laboratorios y universidades para realizar pruebas experimentales. (Cánovas, 1996)

H. Secado en las frutas

Una de las razones principales por las cuales se deshidratan los alimentos es por preservación, pero también en algunos casos se da esto para economizar el transporte, reduciendo el tamaño.

Los alimentos se cortan antes de secarse, para lograr que la velocidad de transferencia de calor y masa aumente, ya que de esta forma se tiene un área superficial mayor que está en contacto con el medio de secado. Los alimentos poseen estructuras celulares que contienen humedad dentro de sus células, mientras el tejido se encuentre vivo retienen esta humedad. Al morirse el tejo, las membranas se vuelven permeables a la humedad, lo mismo que al cocinarlas, por eso si se cocina previamente se secará más rápidamente que uno fresco.

Se ha encontrado que al tener alimentos con alto contenido de azúcar, el tiempo de secado es mayor, ya que el soluto (azúcar) se concentra más en la humedad retenida, por lo que crea un descenso en el secado.

Las frutas, al estar almacenada por cierto tiempo, forman en su superficie una granulación que se conoce como azucaramiento. Esta formación de una apariencia no deseada, porque parece colonias de hongos y afectan la calidad del producto. Por ello el material de empaque debe cumplir con la prueba de humedad.

I. Balance de masa y energía

Ilustración 3 Diagrama de balance de masa

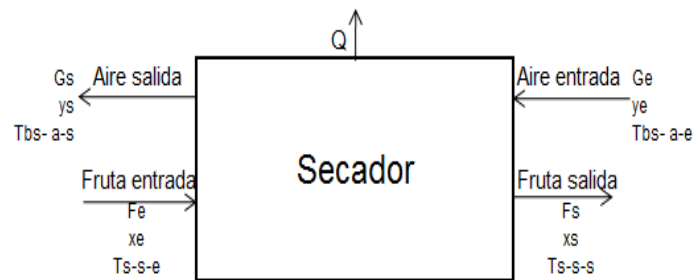


Tabla 4 Variables balance de masa

Flujo	Descripción
F_e	Alimentación de piña fresca
x_e	Porcentaje de humedad promedio en la piña.
T_{s-s-e}	Temperatura de superficie del producto al momento de ser ingresado.
F_s	Cantidad de fruta seca obtenida
x_s	Porcentaje de humedad final en la piña deshidratada
T_{s-s-s}	Temperatura de superficie del sólido al finalizar el proceso.
G_e	Cantidad de aire ingresado durante todo el proceso a una velocidad de 1,44 m/s, más el combustible utilizado.
y_e	Humedad absoluta promedio del aire de ingreso, obtenido según carta psicométrica a las condiciones de entrada.
T_{bs-a-e}	Temperatura de bulbo seco del aire al momento de ingresar.
G_s	Cantidad de aire de salida, junto con el agua eliminada de los productos y los gases de combustión.
Y_s	La humedad absoluta en el aire de salida depende del momento en que se realice la lectura. Ver Tabla No. 21
T_{bs-a-s}	Temperatura promedio de bulbo seco del aire a la salida.

El balance de energía global del secador sería:

Ecuación 1 Balance de energía

$$Q_{F-e} + Q_{G-e} + Q_{glp} = \sum Q_{F-s} + \sum Q_{G-s} + Q_{perdidas}$$

Tabla 5 Variables balance de energía

Flujo	Ecuación	Descripción
Q_{F-e}	$F_e c_{pe}(T_{s-s-s} - T_{s-s-e})$	Calor necesario para llevar la fruta de temperatura ambiente a la temperatura de bulbo húmedo del aire.
Q_{G-e}	$G_e h_{a-e}$	Energía que tiene el aire a las condiciones de ingreso según la carta psicométrica.
Q_{glp}	$m_{com} h_{comb}$	Energía que ofrece el combustible
Q_{F-s}	$F_s c_{ps}(T_{s-s-s} - T_{s-s-e})$	Energía contenida en el producto al finalizar el proceso.
Q_{G-s}	$\Sigma G_t h_t$	Es la energía total eliminada con los flujos de aire.
$Q_{perdidas}$	Resolviendo la ecuación 1	Es la diferencia entre el calor suministrado y el calor eliminado

V. Proceso de secado en la empresa *Alimentos Campestre*

En la empresa *Alimentos Campestres S.A.* la deshidratación de la piña es un proceso por lotes, este inicia con la recepción de materia prima, el producto que ingresa se pesa, se clasifica y luego pasa para ser pelado y cortado manualmente, cada rodaja de piña tiene un grosor promedio de 1.12cm y un diámetro de 8.87cm.

Luego la piña ya cortada se carga en las bandejas del horno deshidratador, estas bandejas pueden ser cuadradas o triangulares. Ya que se cuenta con 5 clavijeros cuadrados y 4 triangulares. Cada clavijero tiene 25 bandejas. El volumen del horno deshidratador, el cual tiene forma de octágono es aproximadamente de 19.3m^3 . El área de la bandeja cuadrada es de 0.81m^2 y el de la bandeja triangular es de 0.4m^2 .

El material de los deshidratadores es de cemento con puertas de acero, con un aislamiento de poliestireno. Para lograr la deshidratación el aire ingresa por medio de dos turbinas y se calienta por medio del gas propano.

La piña al ser cargada en los clavijeros ingresa al horno deshidratador donde se trabajó para la prueba con temperaturas desde 40 hasta 65°C por 25 horas. Luego el producto es evaluado y el que no pasa con las características de humedad requerida se manda a reproceso, si este si cumple es empacado.

Ilustración 4 Dimensiones de las bandejas

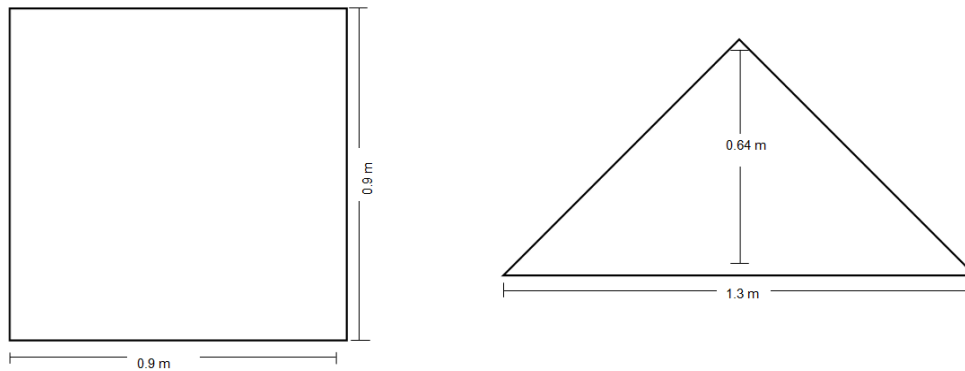


Ilustración 5 Diagrama de deshidratador

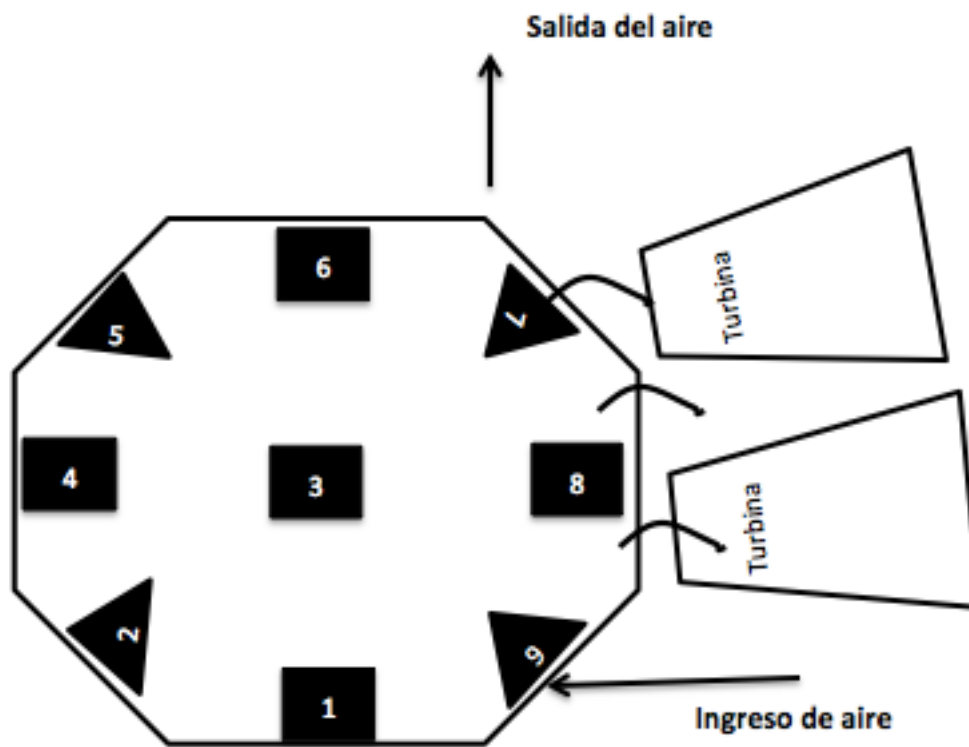
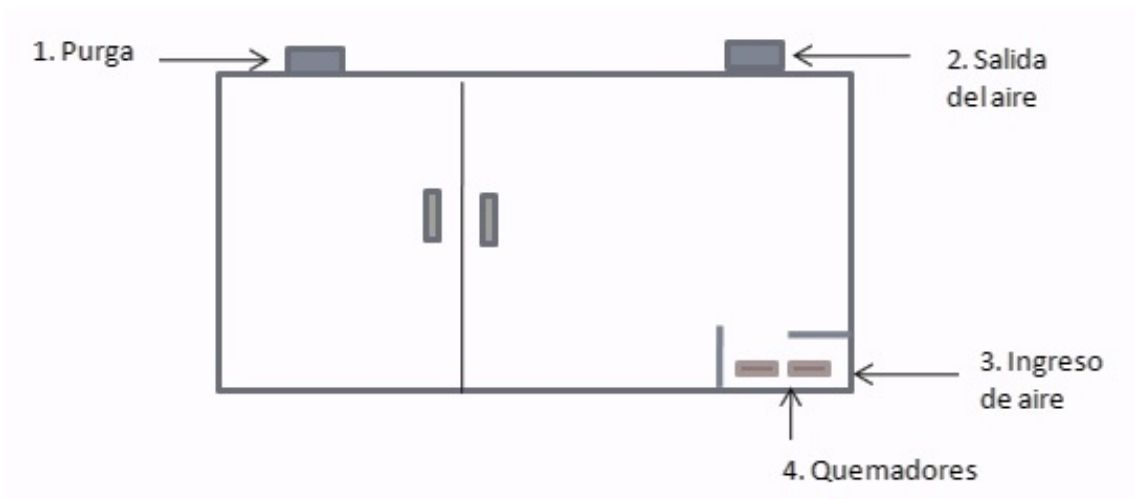


Ilustración 6 Vista de perfil



VI. Materiales y métodos

A. Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en la industria *Alimentos Campestre S.A.*, que encuentra ubicada en Carretera a Canalitos, 21-96 Colonia Lomas del Norte zona 17 ciudad de Guatemala.

B. Material y equipo

- 1,836.25Kg de Piña tipo Hawaiana
- Deshidratador convectivo de bandejas con forma octagonal con un volumen de 19.7m^3 (altura: 2m, largo: 3m y ancho: 3.22m).
- 5 clavijeros cuadrados
- 4 clavijeros triangulares
- 125 bandejas cuadradas con área de 0.81m^2
- 100 bandejas triangulares con área de 0.4m^2
- 30.63 galones de gas propano
- Termómetro de vástago de acero inoxidable con rango de temperatura de 20 a 100°C .
- Balanza digital con capacidad de 100 Kg

VII. Procedimiento

Para llevar a cabo el proceso experimental de analizar los efectos de la temperatura y la humedad del aire en las características de la piña deshidratada se siguieron los siguientes pasos:

1. Se peló un lote de 1,836.25Kg de piña manualmente para deshidratar, quitándole la cáscara a la materia prima.
2. Se cortó la piña manualmente con un grosor promedio de 1.12 cm y un diámetro promedio de 8.87cm.
3. Se colocó la piña en las 125 bandejas cuadradas con un área de 0.81m^2 y en las 100 bandejas triangulares con un área de 0.4m^2 , luego estos se ingresaron en los clavijeros.
4. Se ingresó el producto al deshidratador con forma octagonal de bandejas, con un volumen de 19.7m^3 .
5. Se inició con una temperatura de 40°C por dos horas.
6. Se elevó la temperatura a 50°C por 12 horas.
7. Las siguientes 8 horas se trabajó con una temperatura de 60°C .
8. Por las últimas 3 horas se subió la temperatura a 65°C .
9. Cada hora se midió el peso de una bandeja para ver el porcentaje de humedad. Se sacó la bandeja lo más rápido posible y se pesó en una balanza.
10. Este procedimiento y producto se compára con el que actualmente se trabaja en la empresa *Alimentos Campestre, S.A.* en el cul se deshidrata a una temperatura constante de 65°C .

VIII. Procedimiento prueba adicional

1. Se tomaron muestras utilizando guantes de 200g de piña fresca, esta piña se recolecto en bolsas estériles proporcionadas por el laboratorio.
2. Las muestras fueron enviadas al laboratorio.
3. En el laboratorio realizaron prueba de incineración del total de la muestra de piña y por medio de diferencia de pesos se determinó el porcentaje de humedad de piña fresca.

IX. Análisis sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo con 10 panelistas. Se preparó el cubículo a cada panelista para que estos tuvieran un ambiente agradable.

A. Presentación de las muestras.

Se colocaron a cada panelista dos muestras en distintos platos, rotulados con muestra no. 1 y muestra no. 2, las cuales representaban la piña deshidratada actualmente y la piña con las mejoras respectivamente. También cuentan con boletas de evaluación las cuales se muestran en el apéndice. Por lo que cada panelista llenó la encuesta para verificar cuál de las dos muestras es la más aceptable en el mercado. Por cada aspecto debían llenar con 1= si me gusta, 0.5= me gusta poco y 0= no me gusta, para cada muestra.

B. Análisis de las evaluaciones.

En el análisis sensorial se evaluaron cuatro aspectos, los cuales son:

- Color
- Textura
- Sabor
- Forma

Que son los que se consideraron más importantes para determinar que producto podría ser más aceptado en el mercado por los clientes.

X. Resultados

Tabla 6 Resultados

Procedimiento	Porcentaje de humedad base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Velocidad de secado final bandeja cuadrada (kg/sm ²)	Velocidad de secado final bandeja triangular (kg/sm ²)	Tiempo (horas)	Temperatura °C
Número 1	1.93	9.14	9.00E-05	3.62E-04	21	65
Número 2	2.6	13.77	1.10E-04	3.69E-04	21	65
Prueba	0.62	4.37	1.20E-04	2.10E-04	25	40-60

Tabla 7 Análisis sensorial

Aspecto	muestra no. 1	muestra no. 2
Color	30%	80%
Textura	25%	90%
Sabor	50%	80%
Forma	10%	95%
Total	28.75%	86.25%

Nota: El análisis sensorial se realizó con diez panelistas.

Tabla 8 Porcentaje de humedad

Promedio de Humedad piña fresca	Desviación Estándar
86%	2.53

Tabla 9 Combustible

Temperatura °C	Tiempo (horas)	Lote promedio de piña (Kg)	Gas Propano (kilogramos)
65	21	1779.25	67.16
40-65	25	1836.25	51.42

Tabla 10 Balance de masa

Flujo	Procedimiento No.1	Prueba
F_e	1,836.25 kg	1,836.25 kg
X_e	86%	86%
T_{s-s-e}	28.7 °C	28.7 °C
F_s	131.25 kg	131.25 kg
X_s	1.93%	0.62%
T_{s-s-s}	39.07 °C	38.95 °C
G_e	233,855 kg aire + 67.16kg de GLP	360,246 kg aire + 51.42kg de GLP
y_e	0.0283 kg de vapor por kg de aire seco	0.0267 kg de vapor por kg de aire seco
T_{bs-a-e}	28.7 °C	28.7 °C
G_s	233,855kg + 1,705kg de vapor de agua + 67.16 de gases de combustión	360,246kg + 1,705kg de vapor de agua + 51.42 de gases de combustión
Y_s	-	-
T_{bs-a-s}	62°C	55.42°C

Tabla 11 Balance de energía

Flujo	Procedimiento No.1	Prueba
Q_{F-e}	63,490.67 kJ	63,490.67kJ
Q_{G-e}	479.91 kJ	452.93 kJ
Q_{glp}	44,385,012.78 kJ	28,546,698.98 kJ
Q_{F-s}	-349,241.92kJ	-407,448.91 kJ
Q_{G-s}	-44,834,332.84 kJ	-70,779,949.2kJ
$Q_{perdidas}$	710,167,989.6 kJ	671,498,160.2 kJ

XI. Discusión

A través de las curvas de humedad versus tiempo Ilustración de la no.12-13 , de la 16-17 y de la 20-21, respecto al procedimiento con temperatura constante de 65°C se puede observar que no se tiene un comportamiento típico de deshidratación como la Ilustración no. 1, ya que este no disminuye respecto al tiempo. Esto se debe a la posición donde se encuentren las bandejas ya que como se muestra en la Ilustración no.5 no llega de igual forma el aire a todas las bandejas, además del mecanismo del horno porque este gira por 5 minutos cada 20 minutos la posición de los clavijeros pueden variar.

En la Ilustración no. 12 y 16, se puede ver que en las primeras 10 horas es cuando se da de manera brusca el cambio de humedad en la piña, bajando este al 20%, en las siguientes 5 horas se baja al 5% de la humedad, y las siguientes aproximadamente 6 horas ya no se baja en gran cantidad el porcentaje de humedad, por lo cual se puede examinar si realmente son necesarias estas últimas horas en cuanto a la deshidratación de la piña o si únicamente se está gastando combustible no necesario y esto influye en el costo para la producción. Esto se puede evaluar mediante la actividad de agua, verificando que con el porcentaje de humedad alcanzada en este tiempo no se ve afectado el producto microbiológicamente y de esta forma optimizar el uso del combustible.

La temperatura con la que se está trabajando actualmente para la deshidratación de la piña es de 65°C, la temperatura ideal para trabajar el secado de la fruta va de 50 a 60°C, por lo que se puede ver que se está trabajando con una temperatura mayor a la indicada, esto puede estar influyendo a que la fruta quede con mayor dureza, y en el exterior se forma una costra que impide que la humedad interna se escape, por ello se puede ver que en el análisis sensorial en la ilustración no. 8, se prefiere en un 90% la muestra no. 2 (piña con condiciones controladas). Además que la costra que se forma en el exterior de la materia prima impide que esta logre sacar la humedad, lo que puede verse afectado en un futuro la vida de la piña, ya que al no sacar del todo la humedad y llegar al porcentaje deseado, puede provocar problemas microbiológicos.

En las Ilustraciones no. 14-15 y 18-19, se puede ver el comportamiento de velocidad de secado vrs humedad, su comportamiento no es típico como el que se muestra en la Ilustración no. 2. Tanto en las bandejas cuadradas como triangulares, ya que no se tiene una velocidad constante, debido a que desde el inicio se trabaja con temperaturas elevadas lo que provoca que se evapore el agua de la superficie de la piña rápidamente, por lo que la etapa decreciente comienza rápidamente y no se tiene un tiempo considerado para que el agua logre elevarse a la superficie para ser evaporada.

En las Ilustraciones no. 20 y 21, se puede ver el porcentaje de humedad vrs el tiempo, para un proceso con un rango de temperatura de 40°C a 65°C. Donde se puede observar que en las primeras 10 horas, a diferencia del procedimiento con temperatura constante de 65°C este baja a un 31% de humedad aproximadamente. Por lo que es una de las razones a las que se puede deber la mejora de la textura de la piña, ya que como se comienza a trabajar con temperaturas más bajas no se le forma la costra y por ello el producto no queda con tanta dureza. Además, que no se

deforma el producto, dejando este con rodajas uniformes. A las 16 horas ya baja a un 8% aproximadamente y al igual que el proceso actual en las últimas 7 horas ya es mínima lo que baja en el porcentaje de humedad.

Se puede observar que con el procedimiento actual el porcentaje de humedad llega a 1.93 y 2.60% respectivamente, como se muestra en la Tabla de resultados no. 6, mientras que con las mejoras que se están trabajando se llega a 0.62% de humedad, por lo que se puede verificar que en el procedimiento con temperatura constante a 65°C, debido a la costra que se forma esta dificulta evaporar el agua del interior de la piña.

En las Ilustraciones no. 22 y 23 en la gráfica de velocidad de secado versus humedad, se puede observar que se tiene una velocidad constante que es donde se remueve la humedad superficial de la partícula. Y la velocidad decreciente es mayor que en las graficas de las Ilustraciones no.14 y 15, ya que es la velocidad a la cual la humedad puede pasar a través del sólido, logrando así un mejor secado desde la parte interna de la partícula y no solamente en la parte exterior. Por ello es conveniente tener un período de velocidad constante corto para evitar problemas que impidan una buena fluidización. Con este conocimiento se puede indicar que la curva de secado es apta para la piña ya que cuenta con un corto período de velocidad constante y con un mayor tiempo de velocidad decreciente, logrando de esta forma tener un producto con aspecto, textura y humedad deseada.

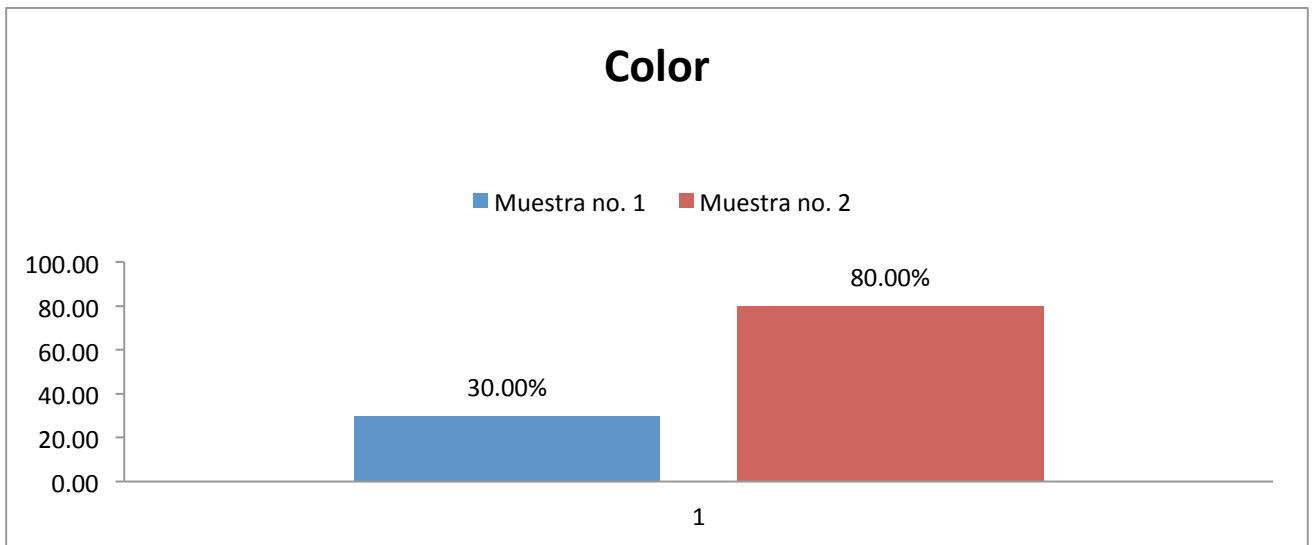
La piña se pela y corta manualmente, por lo que presenta una diferencia entre cada rodaja del grosor y diámetro. Se puede observar en la Tabla No. 12 que las de menor diámetro son las de la punta de la piña, esta variedad en los tamaños se puede ver afectada también en el secado de esta, ya que las de menor grosor se deshidratarán más fácilmente. Otras de las variables importantes es que los bordes de las piñas no se deben tocar unos con otros, para facilitar el paso del flujo de aire caliente. Estas variantes afectan en el secado hasta después del punto crítico de humedad, ya que previo a este se evapora el agua de la superficie de la fruta por lo que no se ve afectado por estas variables.

El gasto de combustible con un lote de 1,836.25Kg de piña para un procedimiento con temperatura constante de 65°C por 21 horas es de 67.16 kilogramos, mientras que para un procedimiento con temperatura controlada variando escalonadamente de 40°C a 65°C por 25 horas el gasto de combustible es de 51.42 kilogramos. Por lo cual existe una diferencia de 15.74 kilogramos respectivamente, lo cual representa un ahorro para la empresa disminuyendo costos de producción en la deshidratación de piña. En la Tabla no. 6 se puede observar que el producto final con condiciones controladas tiene un 0.62% de humedad en base húmeda, por lo que se puede realizar una prueba con menos horas de deshidratación ya que la empresa necesita una humedad entre 1 y 3%, para que no existan problemas microbiológicos con el producto terminado y mediante estas pruebas verificar si se puede lograr una mayor optimización en el uso de combustible.

El análisis sensorial que se realizó a 10 panelistas, donde tuvieron acceso a las dos muestras, las cuales son respectivamente, muestra no.1 con el procedimiento a temperatura constante de 65°C y muestra no. 2 con temperatura escalonada de 40°C a 65°C. Donde según los datos obtenidos totales se puede ver en la Ilustración No. 11 una preferencia por la prueba de piña deshidratada obteniendo un 86.25% de preferencia en cuanto a los cuatro aspectos evaluados, los cuales son: color, forma, sabor y textura. En donde se obtuvo una mayor preferencia fue en la textura y en la forma con un 90 y 95% respectivamente, ya que la mayoría de personas coincidió que de esta forma la piña se mira con una mejor presentación y tiene una menor dureza por lo que es más agradable para el paladar. En cuanto al color, en la Ilustración No. 7 se pudo obtener un porcentaje del 80% ya que algunas personas prefieren un color más oscuro en la piña deshidratada, pero a pesar de ello la mayoría preferían el color claro. Por último se obtuvo un 80% de preferencia en la muestra no. 2 (prueba de piña) respecto a un 50% en la muestra no. 1 (piña con procedimiento actual), ya que existieron panelistas que prefirieron el sabor de la muestra no. 1 porque le encontraban un sabor más dulce a esta. Pero siempre se obtuvo una mayor porcentaje en la muestra no. 2, porque también tiene un sabor agradable aunque un poco menos dulce.

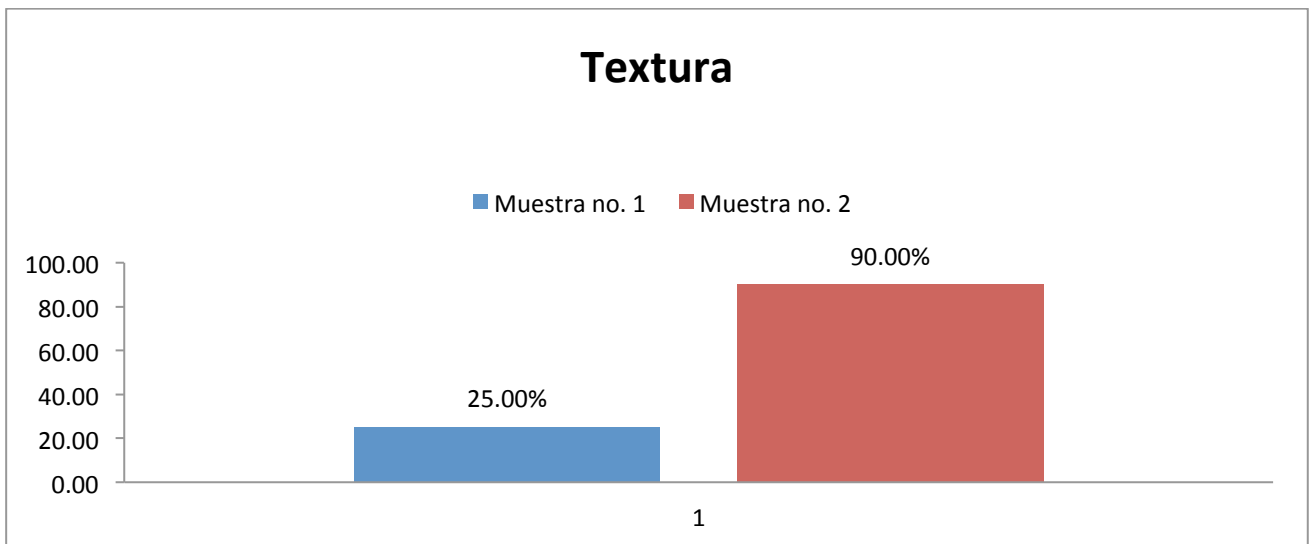
XII. Gráficos

Ilustración 7 Gráfica de color



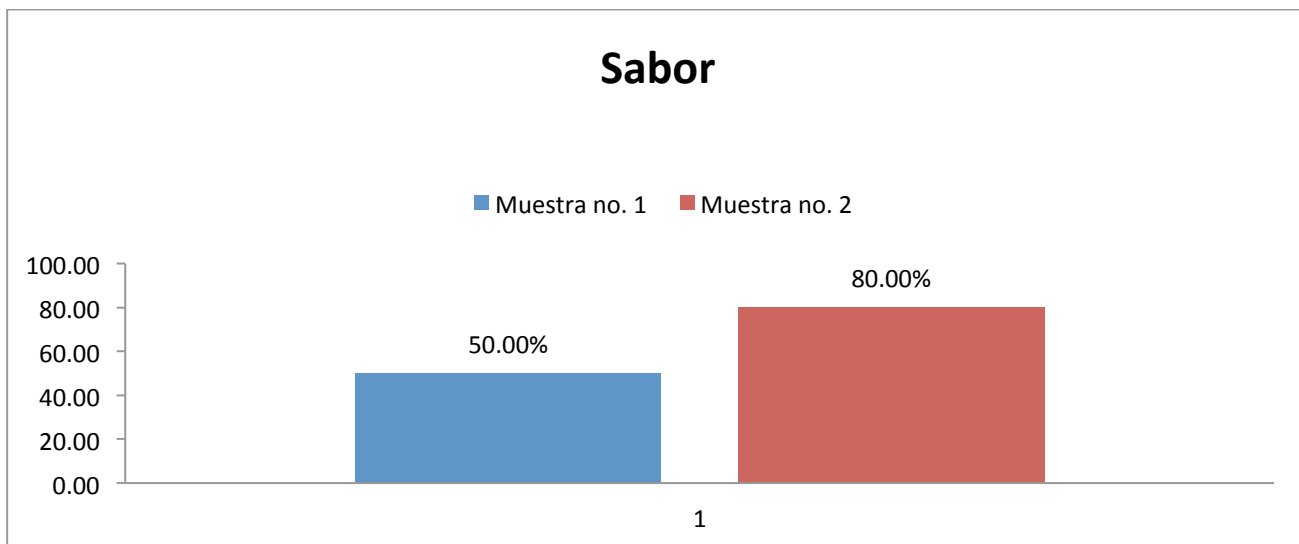
Se tiene un 80% de preferencia en la piña con condiciones controladas ya que da un aspecto más presentable.

Ilustración 8 Gráfica de textura



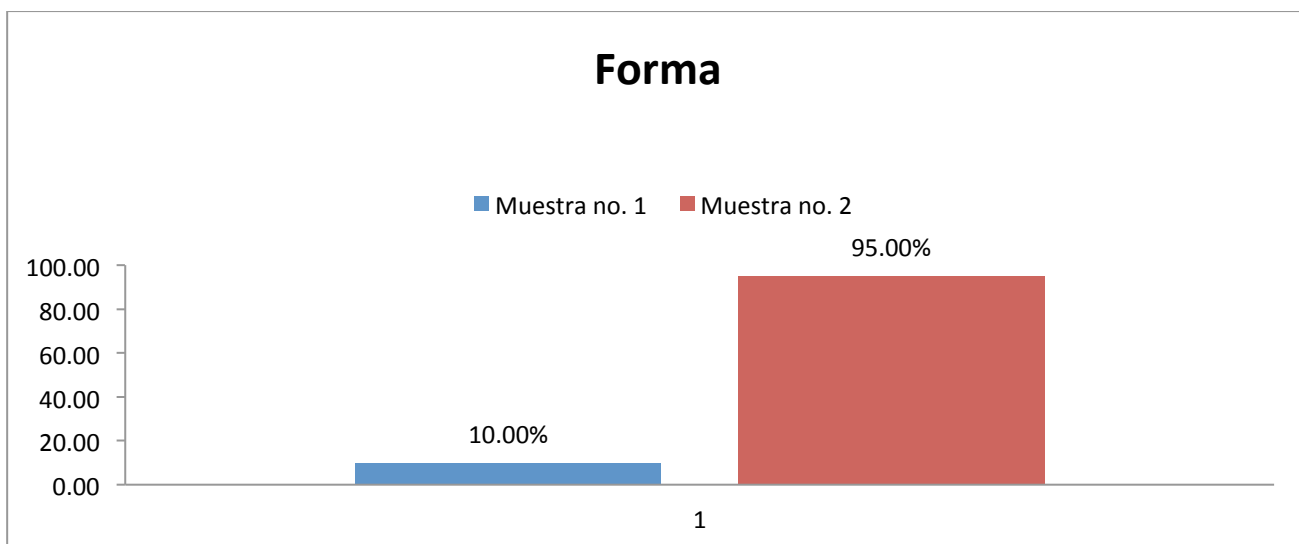
Respecto a la textura se tiene un 90% de preferencia en la piña con condiciones controladas, ya que esta tiene menor dureza.

Ilustración 9 Gráfica de sabor



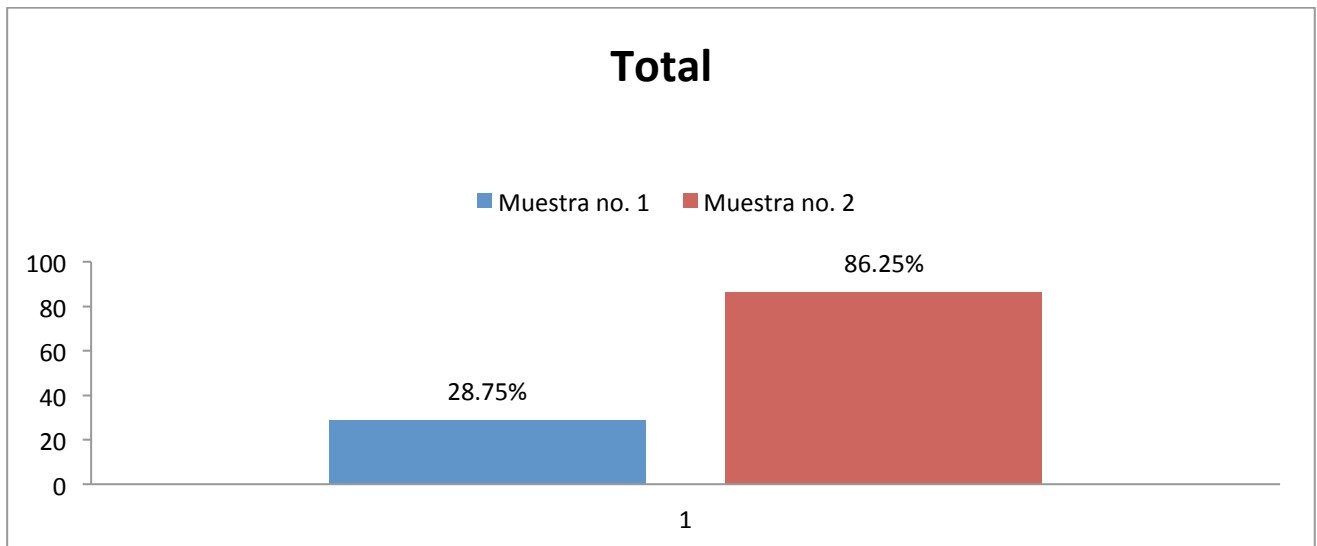
En cuanto al sabor sí existió una menor diferencia, pero aún así se prefiere la piña con condiciones controladas en un 80%.

Ilustración 10 Gráfica de forma



El 95% prefiere la piña con condiciones controladas ya que tiene una forma uniforme y sin dobleces.

Ilustración 11 Gráfica total



Evaluando todos los aspectos en conjunto se ve una preferencia por el producto con las condiciones controladas del 86.25%. Teniendo este producto una mejor presentación y sabor.

Ilustración 12 Porcentaje de humedad base húmeda No.1

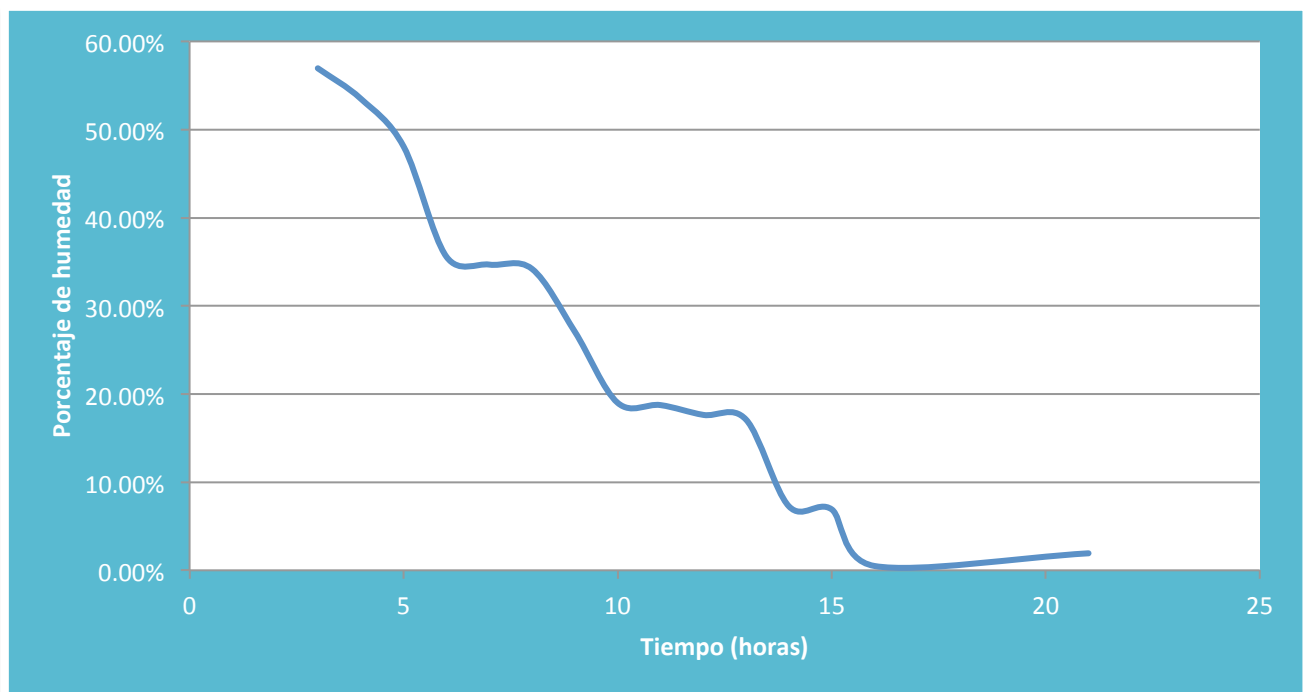


Ilustración 13 Porcentaje de humedad base seca No.1

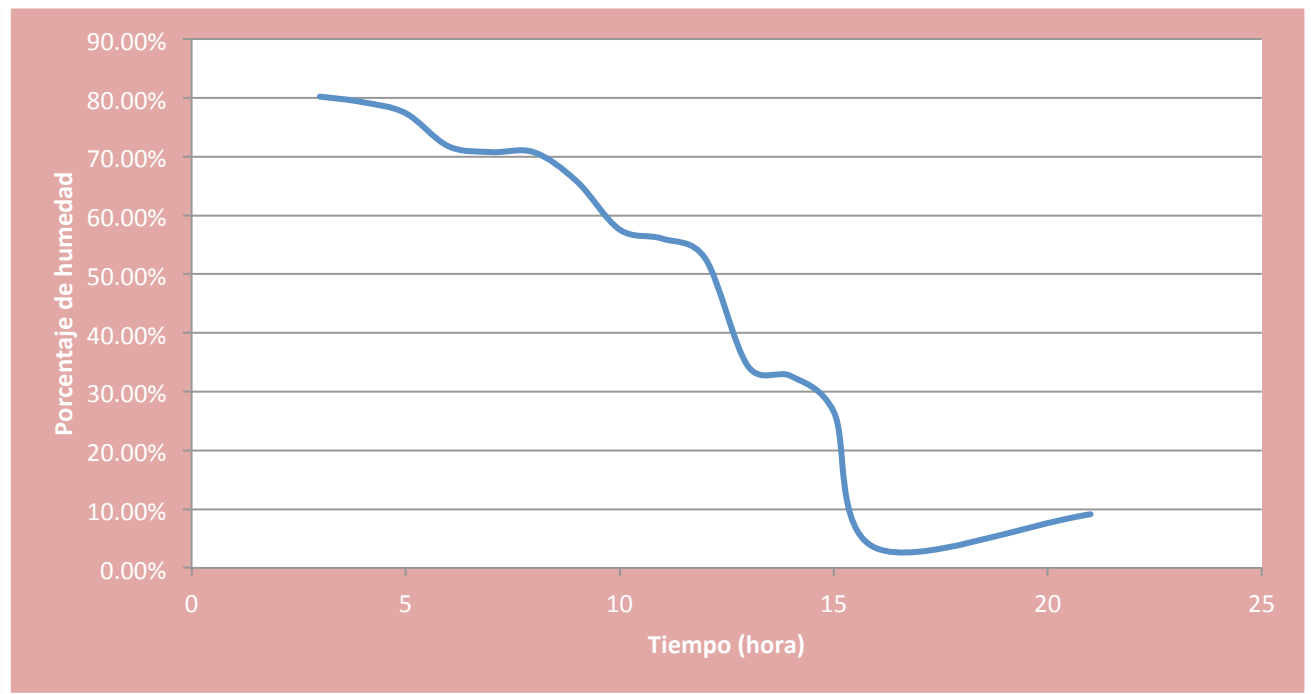


Ilustración 14 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.1

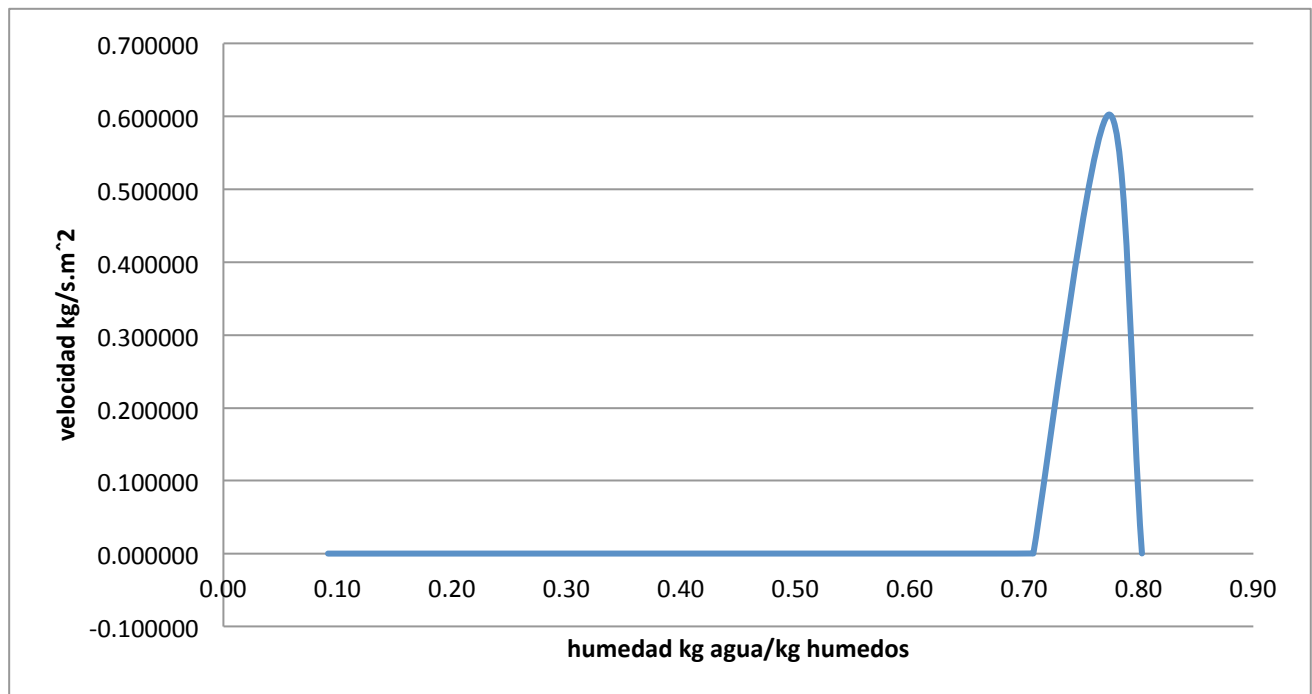


Ilustración 15 Velocidad de secado bandeja triangular No.1

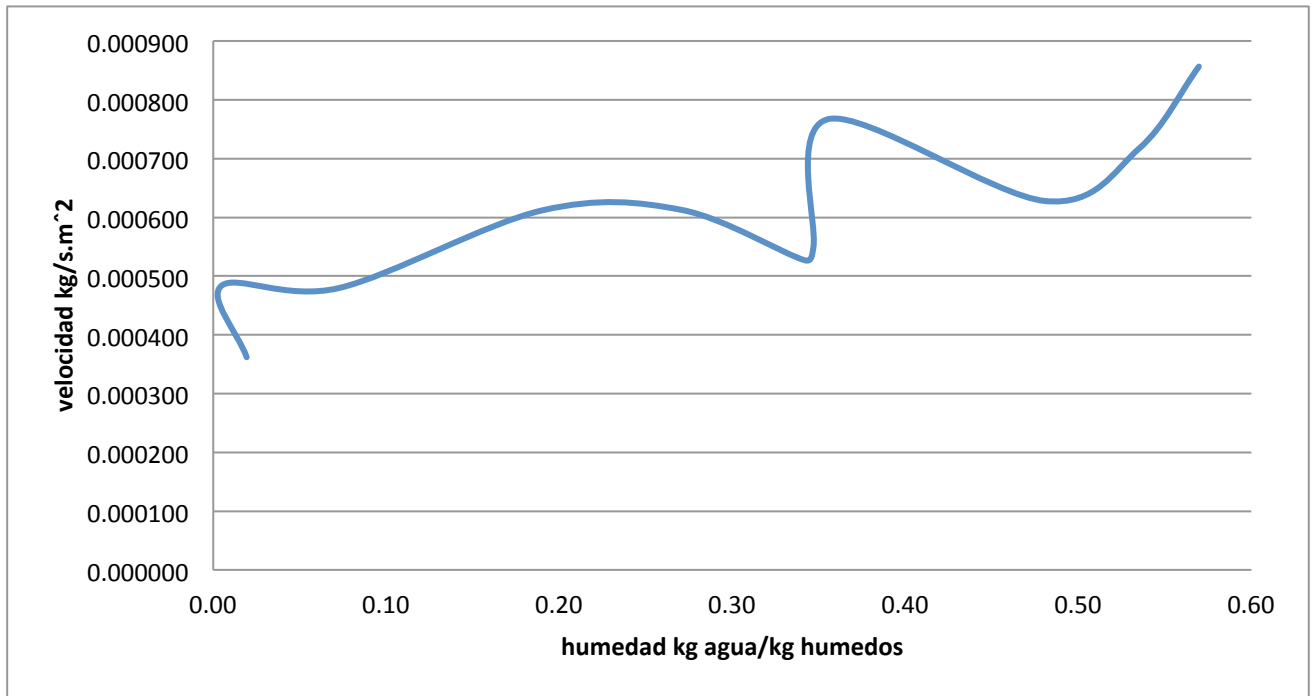


Ilustración 16 Porcentaje de humedad base seca No.2

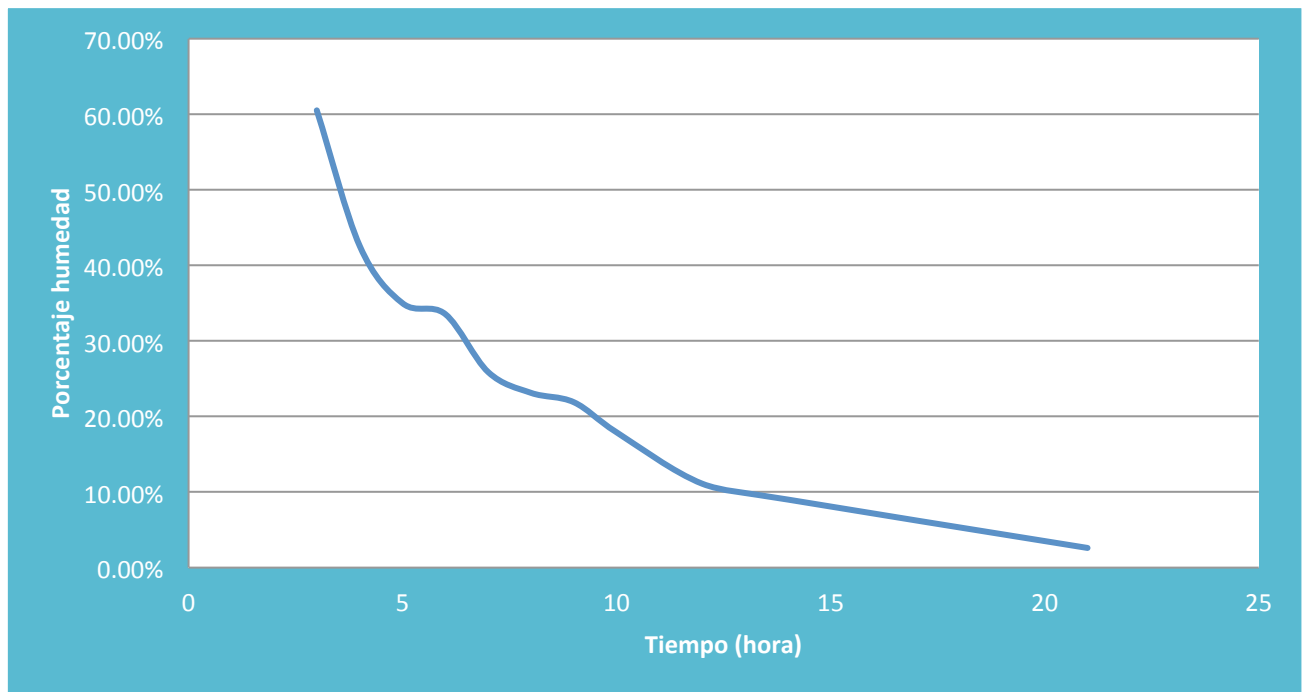


Ilustración 17 Porcentaje de humedad base seca No.2

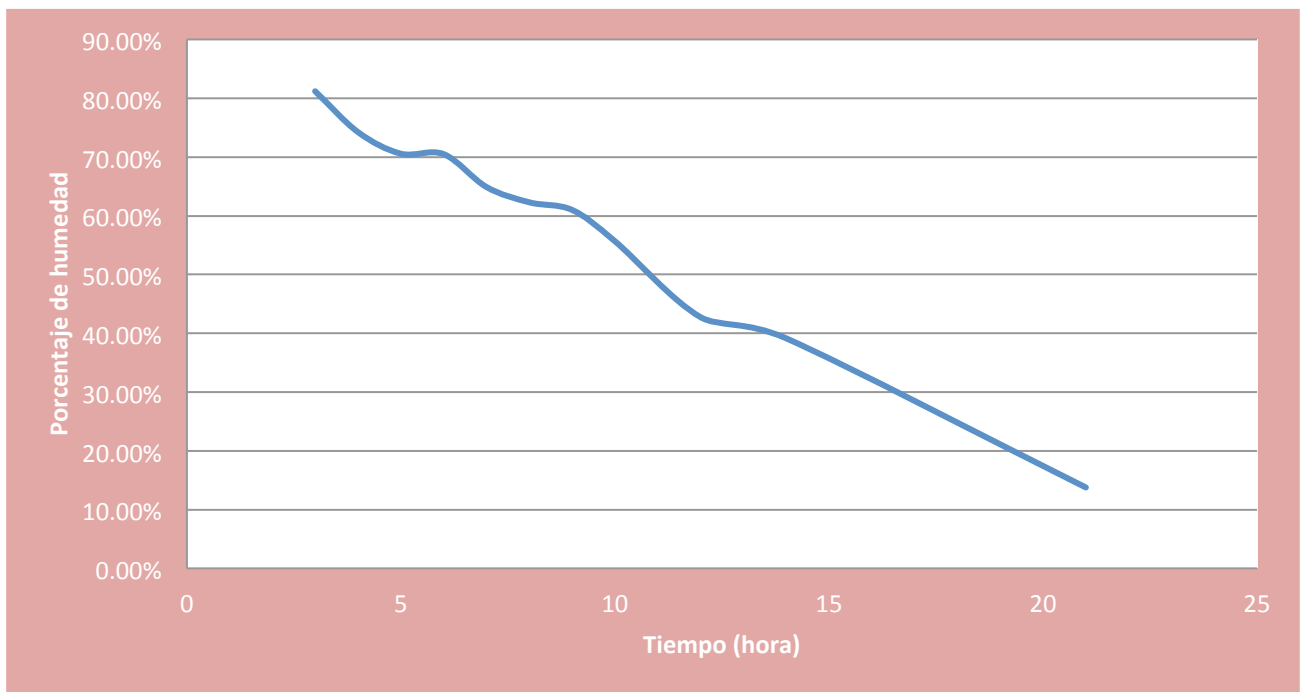


Ilustración 18 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.2

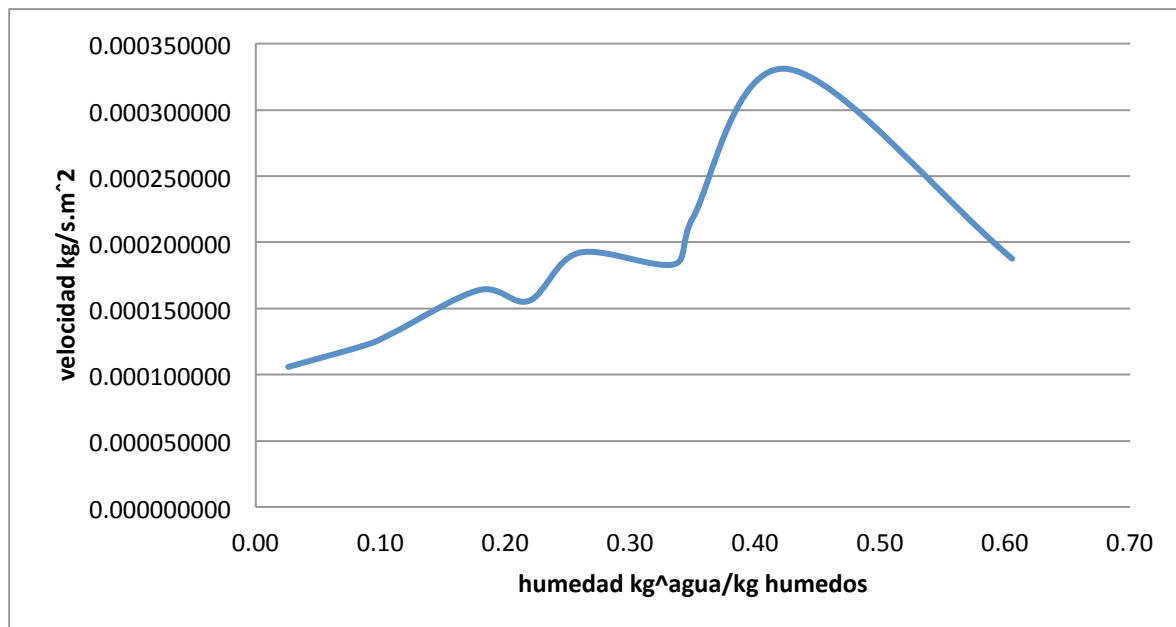
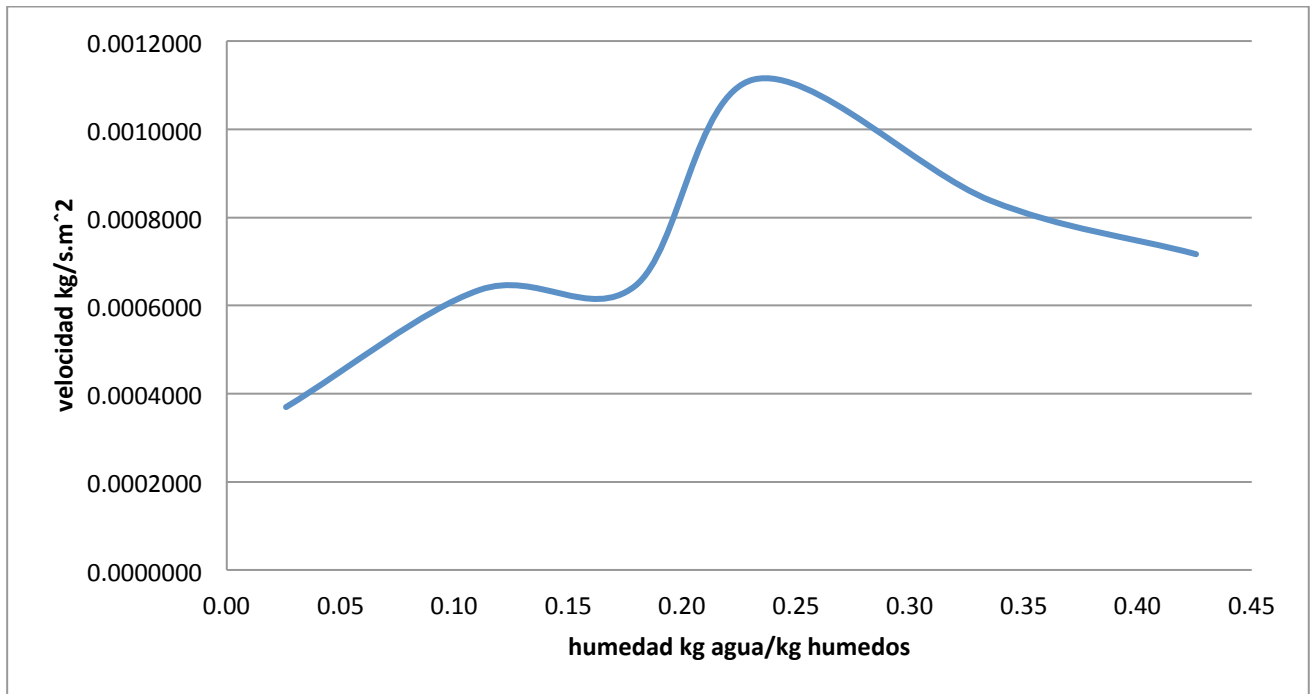


Ilustración 19 Velocidad de secado bandeja triangular No.2



A. Prueba

Ilustración 20 Porcentaje de humedad base húmeda prueba

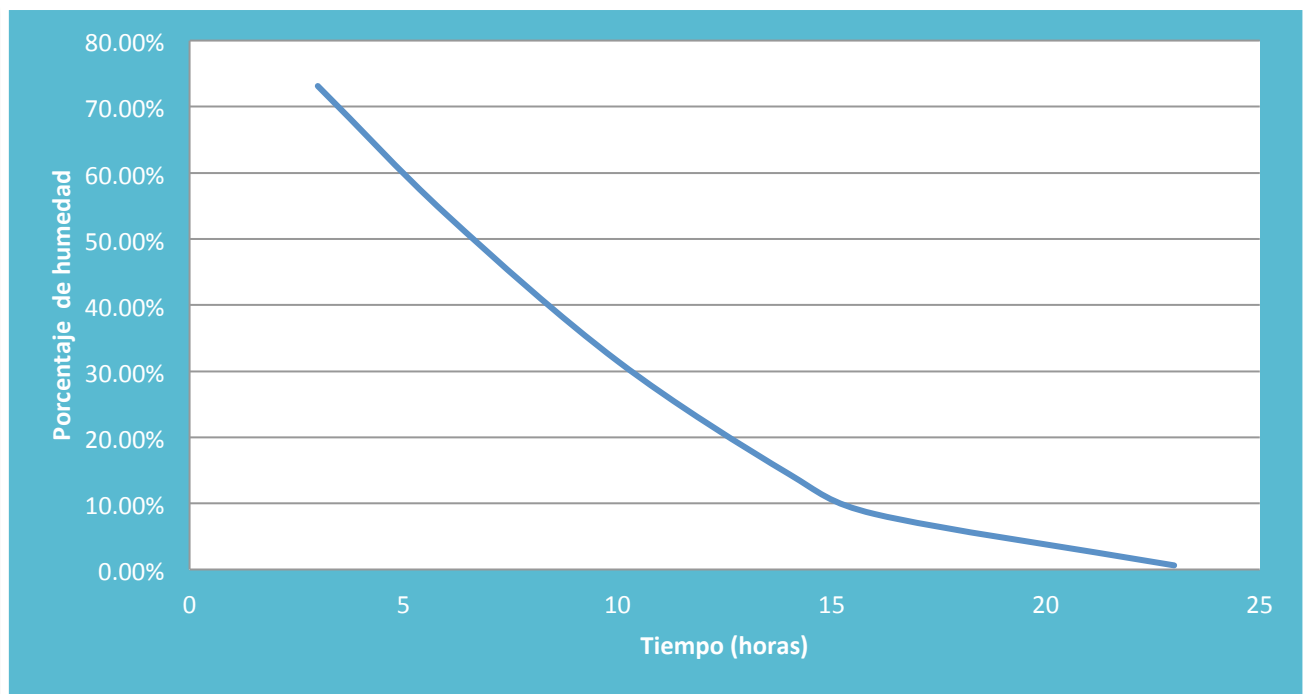


Ilustración 21 Porcentaje de humedad base seca

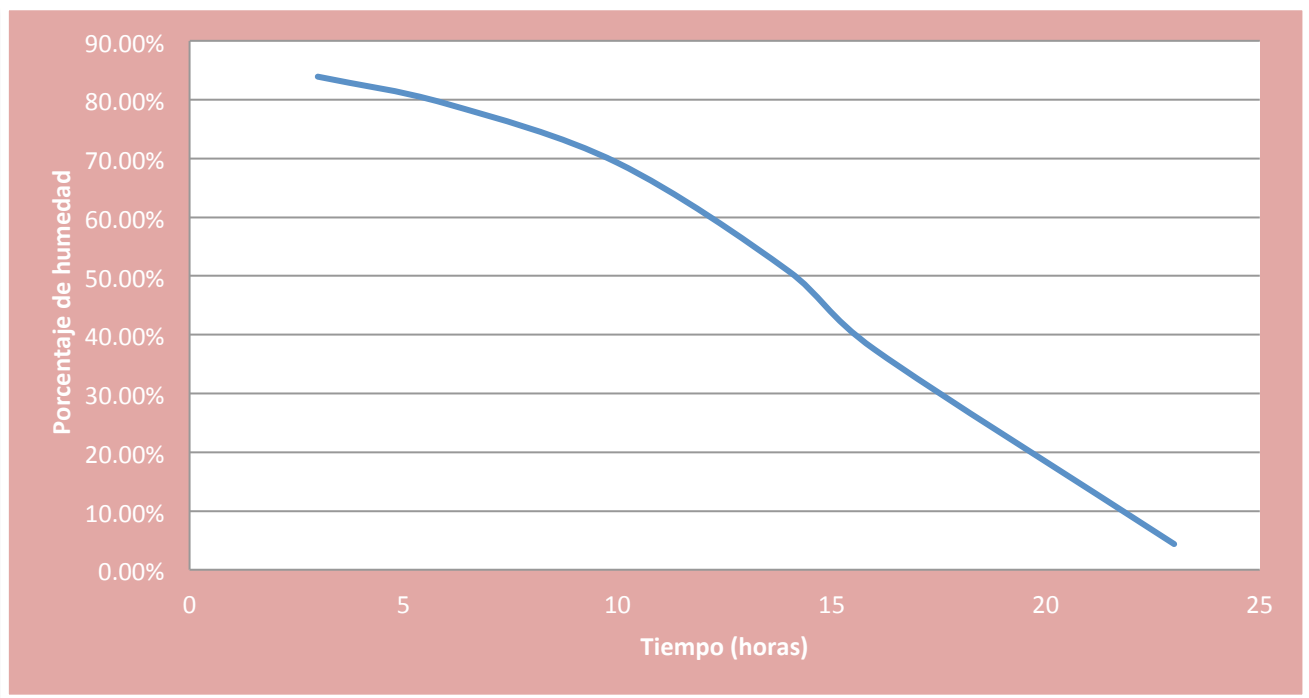


Ilustración 22 Velocidad de secado bandeja cuadrada prueba

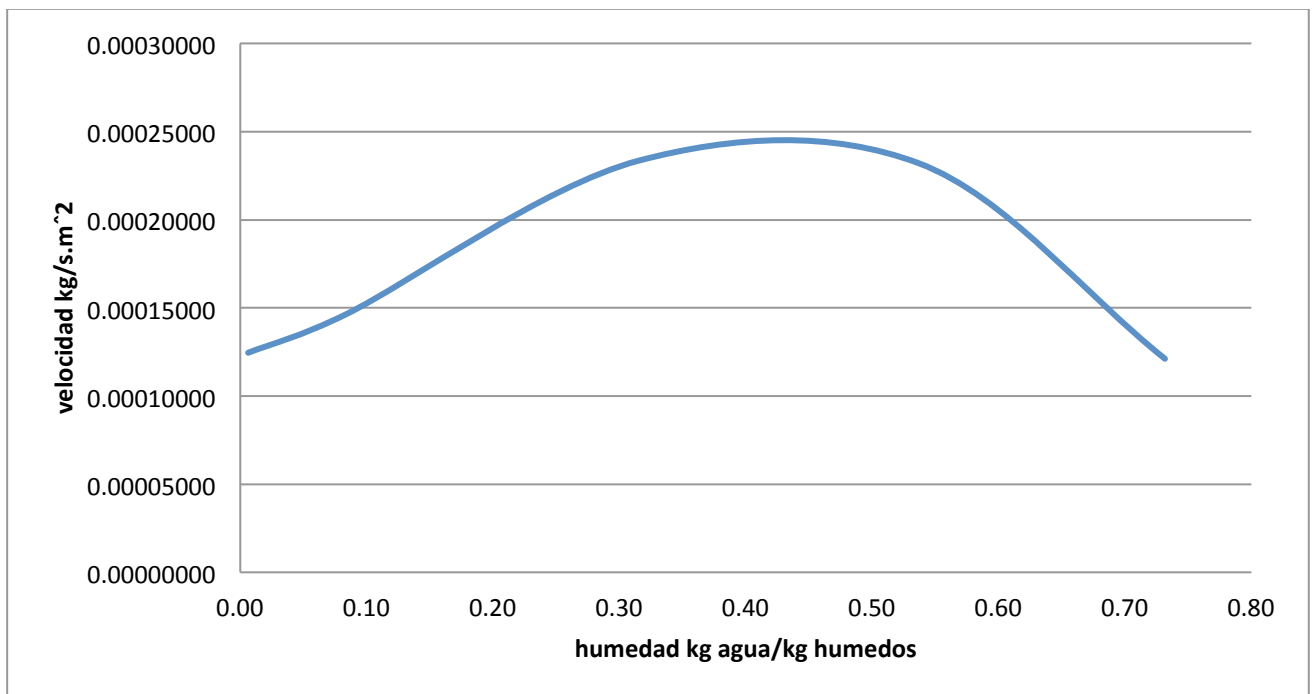


Ilustración 23 Velocidad de secado bandeja triangular prueba

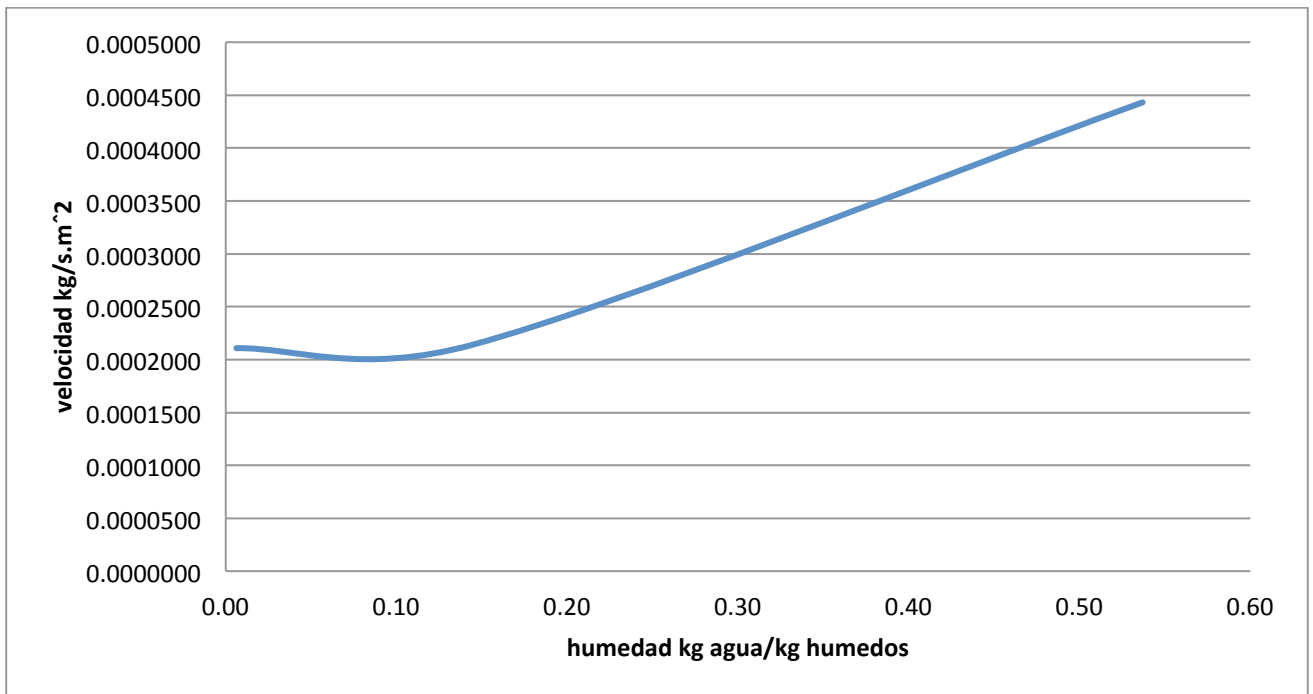


Ilustración 24 Diagrama de bloques

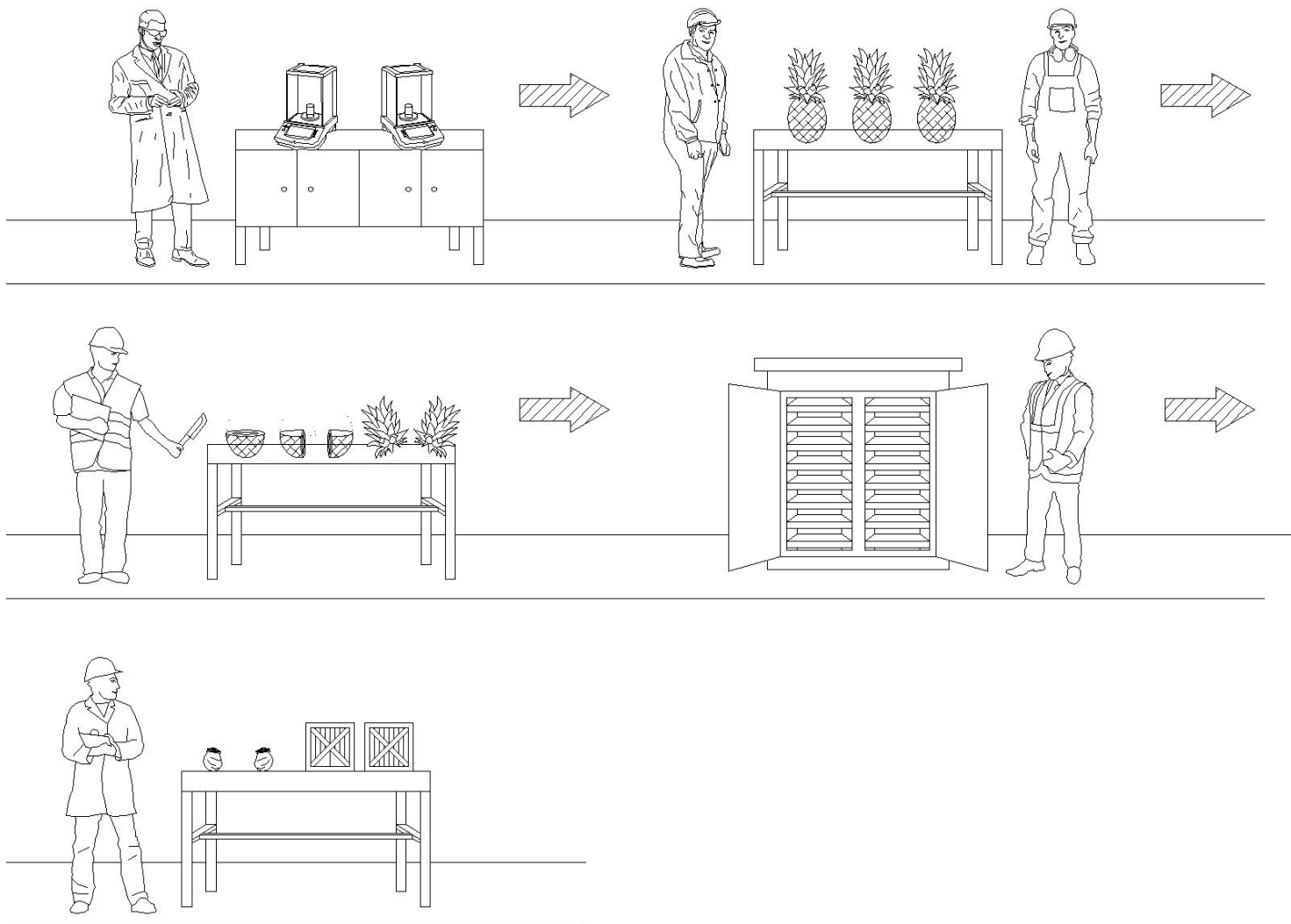
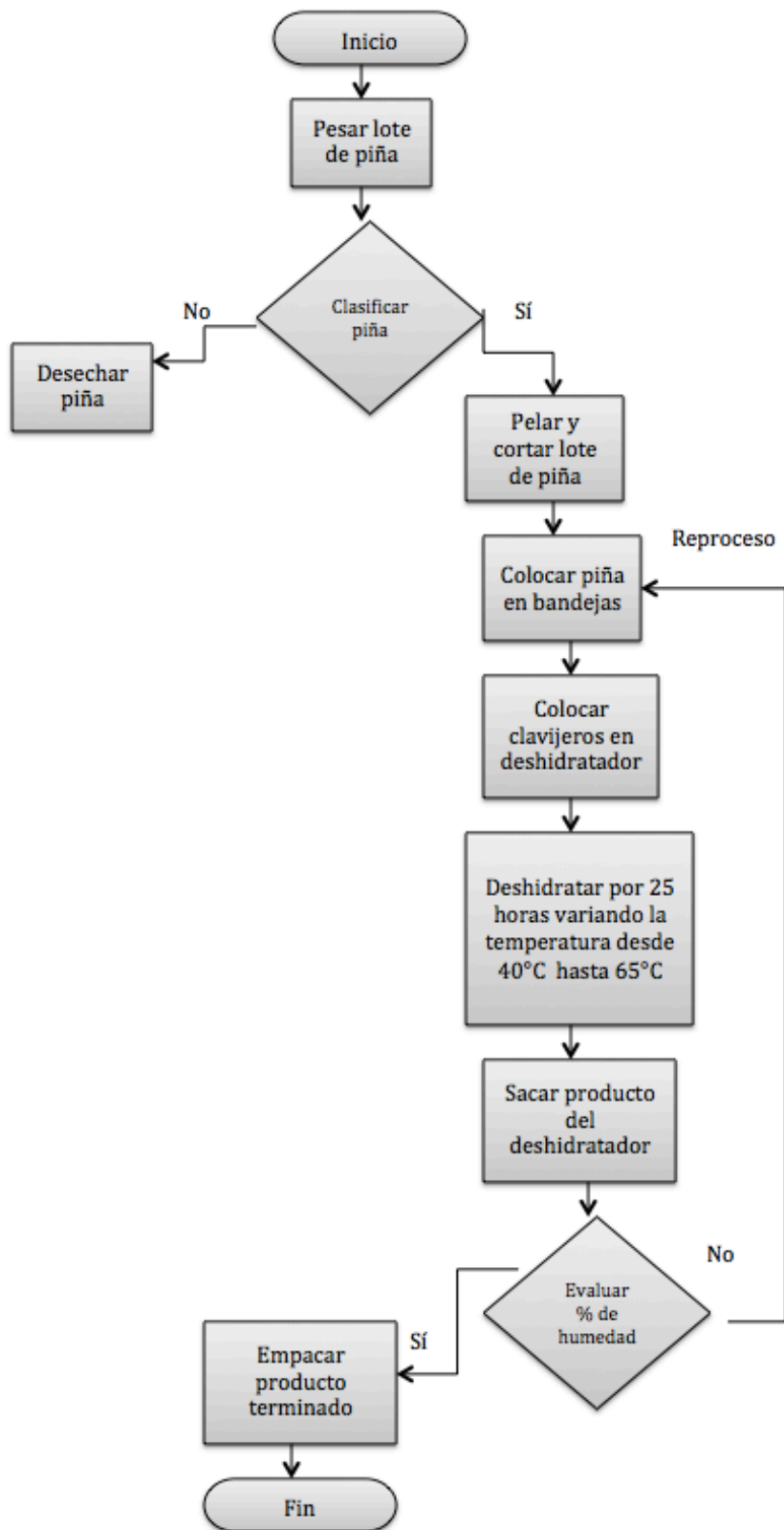


Ilustración 25 Diagrama de flujo



XIII. Conclusiones

- Con el proceso de deshidratación de piña con una temperatura constante de 65°C se llega a un porcentaje de humedad que oscila entre 2 y 3%.
- Se realizó una prueba del proceso de deshidratación de piña con temperatura de 40 a 65°C, logrando obtener un producto con una buena presentación, buen sabor, forma y textura.
- Mediante las gráficas de humedad versus tiempo, se ve una disminución del 10% de humedad en las primeras 10 horas con el producto en las condiciones controladas versus el producto con condiciones actuales.
- Variando la temperatura se logró obtener una piña sin costra y con una humedad final de 0.62% en el producto con condiciones controladas.
- Se consume 30.63 galones de gas propano para secar 1,836.25kg de piña en 25 horas, variando la temperatura de 40 a 65°C.
- Se consume 40 galones de gas propano para secar 1,836.25kg de piña en 21 horas, con una temperatura constante de 65°C.
- Se obtuvo una preferencia en el panel sensorial del 86.25% en los aspectos de sabor, color, forma y textura en la piña con cambios controlados.

XIV. Recomendaciones

- Se recomienda realizar pruebas para la deshidratación de piña variando las temperaturas de 40 a 65°C con menos de 25 horas de deshidratación para evaluar y optimizar el consumo de combustible.
- Se recomienda variar en el proceso de deshidratación de piña temperaturas empezando de 40 a 65°C, con el fin de obtener un producto con mejor textura, sabor y forma.
- Se recomienda evaluar los sub-productos obtenidos del proceso de la deshidratación de piña, para la fabricación de compost y el rendimiento de este.

XV. Bibliografía

- Báez, E. M. (2011). *Diseño y construcción de un deshidratador de frutas y la comercialización de sus productos*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://www.scribd.com/doc/225659167/Tesis-Diseño-de-Una-Planta-de-Deshidratación-de-Frutas#scribd>
- Cánovas, B. (1996). *Dehydration of Foods*. Chapman and Hall.
- Correa, M. F. (2011). *Estudio de Mercado Snacks de Fruta Deshidratada EE.UU.* Los Angeles: ProChile.
- Davila, N. (2000). *Proceso de secado*.
- De León, S. (1978). *Phillippine Fruit and Vegetable Processing Guide*. Philippine: Interlino Printing Co.
- Della, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2010-Rocca.pdf>
- Egas Sevillano, V. (2011). *Influencia de los parametros en la deshidratacion de piña fortificado con vitamina C*. Ecuador.
- Estrada, L. D. (2010). *Plan de exportación de piña deshidratada con destino a Alemania*. Bogotá.
- Huerta Ochoa, S. (2009). *Planta Piloto de Fermentaciones Departamento de Biotecnología*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- McCabe, W. y. (1987). *Operaciones basicas de ingeniería química*. Mexico: MacGraw Hill.
- Moreno, J. (2010). *Plan de exportación de piña deshidratada con destino a Alemania*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de http://www.academia.edu/7581730/Tesis_pi%C3%B1a_deshidratada
- Pac, P. J. (Marzo de 2005). *Experiencias en el cultivo de piña*. Recuperado el Octubre de 2015, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2161.pdf
- Perez, L. (2000). *Proceso de secado*. Chile.
- Toledo, R. (1991). *Fundamental of food processing engineering*. U.S.A.: Van Nostrand.
- Treybal, R. (1980). *Mass Transfer Operations*. U.S.A.: McGraw Hill.
- Villatoro, W. A. (2005). *Evaluación de rentabilidad de un proyecto de deshidratación de manzana por medio de energía solar*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_2244.pdf

XVI. Anexos

A. Características piña

Se evaluaron 15 muestras de piña al azar, donde se puede observar la variedad que existe en el grosor y diámetro de estas.

Tabla 12 Características piña

No. Muestra	Grosor (cm)	Diámetro (cm)	Observaciones
1	1.16	10.43	
2	0.33	7.88	punta de la piña
3	1.25		punta de la piña
4	1.77	9.07	
5	1.16	11.44	
6	1.13	7.06	
7	0.75	11.25	
8	1.05	6.04	punta de la piña
9	0.36	8.01	
10	1	11.54	
11	1.34	12.02	
12	1.56	6.84	punta de la piña
13	1.95	7.69	
14	1.03	6.35	
15	1	8.51	
Promedio	1.12	8.87	

Datos:

Tabla 13 Humedad versus tiempo No.1

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 3 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 4 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 5 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 6 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 7 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 8 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 9 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca
Bandeja 1	5.97							3.53	45.13%	76.32%										2.6	29.55%	67.85%
Bandeja 2	13.15										6.52	35.58%	71.76%									
Bandeja 3	11.84																					
Bandeja 4	5.86													2.49	28.49%	67.05%						
Bandeja 5	12.28	8.58	55.87%	79.96%										6.74	40.89%	74.49%						
Bandeja 6	6.41	4.62	58.07%	80.58%													2.83	30.15%	68.29%			
Bandeja 7	12.71				8.58	53.51%	79.26%										6.64	38.24%	73.20%			
Bandeja 8	2.95																					
Bandeja 9	12.93							8.41	51.04%	78.48%										4.99	24.59%	63.72%
	Promedio %humedad por hora		56.97%	80.27%		53.51%	79.26%		48.09%	77.40%		35.58%	71.76%		34.69%	70.77%		34.20%	70.75%		27.07%	65.79%

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 3 horas	humdad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 5 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 7 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 8 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 9 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 14 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 21 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 1	5.97				3.53	-4.88E-01	6.02E-01							2.6	-1.04E-04	1.28E-04				0.86	-6.76E-05	8.34E-05
Bandeja 3	11.84																			1.95	-1.31E-04	1.62E-04
Bandeja 4	5.86							2.49	-1.34E-04	1.65E-04										0.86	-6.61E-05	8.17E-05
Bandeja 6	6.41	4.62	-1.66E-04	2.05E-04							2.83	-1.24E-04	1.53E-04				1.1	-1.05E-04	1.30E-04	0.96	-7.21E-05	8.90E-05
Bandeja 8	2.95																			0.76	-2.90E-05	3.58E-05
	Promedio		-1.66E-04	2.05E-04		-4.88E-01	6.02E-01		-1.34E-04	1.65E-04		-1.24E-04	1.53E-04		-1.04E-04	1.28E-04		-1.05E-04	1.30E-04		-7.31E-05	9.03E-05

Tabla 14 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.1

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 10 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 11 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 12 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 13 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 14 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 15 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 16 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 21 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca
Bandeja 1	5.97							1.3	7.78%	35.71%													0.86	0.41%	2.81%
Bandeja 2	13.15	4.34	19.00%	57.58%							2	1.21%	7.95%							1.95	0.83%	5.59%	1.89	0.37%	2.59%
Bandeja 3	11.84																						1.95	2.47%	14.99%
Bandeja 4	5.86				1.6	13.30%	48.73%				1	3.06%	17.96%										0.86	0.68%	4.60%
Bandeja 5	12.28				4.69	24.19%	63.34%							3.02	10.59%	43.07%							1.75	0.25%	1.76%
Bandeja 6	6.41							2.06	18.14%	56.44%				1.1	3.16%	18.42%							0.96	0.98%	6.52%
Bandeja 7	12.71							5.21	26.99%	65.85%							1.87	0.71%	4.84%				1.83	0.40%	2.77%
Bandeja 8	2.95										1.8	47.02%	77.06%				0.80	13.12%	48.37%				0.76	11.76%	45.66%
Bandeja 9	12.93													2.85	8.04%	36.48%				1.83	0.15%	1.08%	1.82	0.08%	0.54%
Promedio %humedad por hora			19.00%	57.58%		18.75%	56.03%		17.63%	52.66%		17.10%	34.32%		7.27%	32.66%		6.92%	26.61%		0.49%	3.34%		1.93%	9.14%

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 14 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 16 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 21 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 2	13.15				1.95	-1.94E-04	4.86E-04	1.89	-1.49E-04	3.72E-04
Bandeja 5	12.28	3.02	-1.84E-04	4.59E-04				1.75	-1.39E-04	3.48E-04
Bandeja 7	12.71							1.83	-1.44E-04	3.60E-04
Bandeja 9	12.93	2.85	-2.00E-04	5.00E-04	1.83	-1.93E-04	4.82E-04	1.82	-1.47E-04	3.67E-04
Promedio			-1.92E-04	4.80E-04		-1.94E-04	4.84E-04		-1.45E-04	3.62E-04

Tabla 15 Velocidad de secado bandeja triangular No.1

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 3 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 4 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 5 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 6 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 7 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 8 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 9 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 10 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 2	13.15										6.52	-3.07E-04	7.67E-04										4.34	-2.45E-04	6.12E-04
Bandeja 5	12.28	8.58	-3.43E-04	8.56E-04										6.74	-2.20E-04	5.50E-04									
Bandeja 7	12.71				8.58	-2.87E-04	7.17E-04										6.64	-2.11E-04	5.27E-04						
Bandeja 9	12.93							8.41	-2.51E-04	6.28E-04										4.99	-2.45E-04	6.13E-04			
Promedio			-3.43E-04	8.56E-04		-2.87E-04	7.17E-04		-2.51E-04	6.28E-04		-3.07E-04	7.67E-04		-2.20E-04	5.50E-04		-2.11E-04	5.27E-04		-2.45E-04	6.13E-04		-2.45E-04	6.12E-04

Tabla 16 Humedad versus tiempo No.2

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 3 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 4 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 5 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 6 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 7 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 8 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 9 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca
Bandeja 1	6.52	4.95	61.92%	81.56%				2.65	26.64%	65.55%				2.6	25.88%	64.89%						
Bandeja 2	13.91																					
Bandeja 3	13.04																					
Bandeja 4	5.86							3.36	43.34%	75.58%												
Bandeja 5	13.2																					
Bandeja 6	6.38	4.67	59.20%	80.87%							3.17	35.69%	71.82%							2.29	21.89%	61.00%
Bandeja 7	13.26										6.02	31.40%	69.16%									
Bandeja 8	7.06				3.2	31.33%	69.11%															
Bandeja 9	12.82				8.69	53.78%	79.35%										4.76	23.13%	62.29%			
	Promedio %humedad por hora		60.56%	81.22%		42.56%	74.23%		34.99%	70.57%		33.54%	70.49%		25.88%	64.89%		23.13%	62.29%		21.89%	61.00%

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 10 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 12 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 14 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca	Peso 21 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje de humedad en base seca
Bandeja 1	6.52				1.9	15.14%	51.96%	1.5	9.01%	39.15%	1.3	5.94%	29.78%
Bandeja 2	13.91	4.95	21.59%	60.66%	2.93	7.06%	33.54%				2.4	3.25%	18.86%
Bandeja 3	13.04										1.84	0.11%	0.78%
Bandeja 4	5.86										0.86	0.68%	4.60%
Bandeja 5	13.2										2.3	3.42%	19.65%
Bandeja 6	6.38										1.4	7.94%	36.20%
Bandeja 7	13.26	3.69	13.83%	49.69%							1.95	0.71%	4.80%
Bandeja 8	7.06	2.28	18.29%	56.65%							1.06	1.01%	6.75%
Bandeja 9	12.82										1.84	0.35%	2.46%
	Promedio %humedad por hora		17.90%	55.67%		11.10%	42.75%		9.01%	39.15%		2.60%	13.77%

Tabla 17 Velocidad de secado bandeja cuadrada No.2

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 3 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 4 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 5 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 6 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 7 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 9 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 10 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 1	6.52	4.95	-1.45E-04	1.79E-04				2.65	-2.15E-04	2.65E-04				2.6	-1.56E-04	1.92E-04						
Bandeja 3	13.04																					
Bandeja 4	5.86							3.36	-1.39E-04	1.71E-04												
Bandeja 6	6.38	4.67	-1.58E-04	1.95E-04							3.17	-1.49E-04	1.83E-04				2.29	-1.26E-04	1.56E-04			
Bandeja 8	7.06				3.2	-2.68E-04	3.31E-04													2.28	-1.33E-04	1.64E-04
Promedio %humedad por hora			-1.52E-04	1.87E-04		-2.68E-04	3.31E-04		-1.77E-04	2.18E-04		-1.49E-04	1.83E-04		-1.56E-04	1.92E-04		-1.26E-04	1.56E-04		-1.33E-04	1.64E-04

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 12 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 14 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 21 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 1	6.52	1.9	-1.07E-04	1.32E-04	1.5	-9.96E-05	1.23E-04	1.3	-6.90E-05	8.52E-05
Bandeja 3	13.04							1.84	-1.48E-04	1.83E-04
Bandeja 4	5.86							0.86	-6.61E-05	8.17E-05
Bandeja 6	6.38							1.4	-6.59E-05	8.13E-05
Bandeja 8	7.06							1.06	-7.94E-05	9.80E-05
Promedio %humedad por hora			-1.07E-04	1.32E-04		-9.96E-05	1.23E-04		-8.57E-05	1.06E-04

Tabla 18 Velocidad de secado bandeja triangular

Número de bandeja	Peso inicial (kg)	Peso 4 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 6 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 8 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 10 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 12 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 21 horas	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
Bandeja 2	13.91										4.95	-2.49E-04	6.22E-04	2.93	-2.54E-04	6.35E-04	2.4	-1.52E-04	3.81E-04
Bandeja 5	13.2																2.3	-1.44E-04	3.60E-04
Bandeja 7	13.26				6.02	-3.35E-04	8.38E-04				3.69	-2.66E-04	6.65E-04				1.95	-1.50E-04	3.74E-04
Bandeja 9	12.82	8.69	-2.87E-04	7.17E-04				4.76	-4.45E-04	1.11E-03							1.84	-1.45E-04	3.63E-04
	Promedio %humedad por hora		-2.87E-04	7.17E-04		-3.35E-04	8.38E-04		-4.45E-04	1.11E-03		-2.57E-04	6.43E-04		-2.54E-04	6.35E-04		-1.48E-04	3.70E-04

Numero bandeja	Peso Inicial (Kg)	Peso 3 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca	Peso 6 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca	Peso 10 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca	Peso 14 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca	Peso 16 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca	Peso 25 horas (Kg)	Porcentaje de humedad en base húmeda	Porcentaje humedad en base seca
1	5.97	5.06	70.76%	83.48%										1.35	8.61%	38.09%	0.87	0.57%	
2	12.5				8.67	55.36%	79.82%										1.84	0.72%	4.89%
3	6.84																1.01	0.77%	
4	11.95				7.89	52.03%	78.80%										1.74	0.56%	3.85%
5	5.76										1.65	14.65%	51.13%				0.85	0.76%	
6	12.5							5.69	31.52%	69.24%							1.82	0.56%	
7	6.3										1.78	14.25%	50.45%				0.92	0.60%	
8	11.63	10.42	75.60%	84.37%										2.58	8.18%	36.89%	1.68	0.45%	
	Promedio		73.18%	83.93%		53.69%	79.31%		31.52%	69.24%		14.45%	50.79%		8.40%	37.49%		0.62%	4.37%

Tabla 19 Humedad versus tiempo prueba

Tabla 20 Velocidad de secado bandeja cuadrada Prueba

Numero bandeja	Peso inicial	Peso 3 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 6 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 10 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 16 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 23 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
1	5.97	5.06	-8.43E-05	1.04E-04							1.35	-8.02E-05	9.90E-05	0.87	-6.16E-05	7.60E-05
3	6.84													1.01	-7.04E-05	8.69E-05
4	11.95				7.89	-1.88E-04	2.32E-04							1.74	-1.23E-04	1.52E-04
6	12.5							5.69	-1.89E-04	2.34E-04				1.82	-1.29E-04	1.59E-04
8	11.63	10.42	-1.12E-04	1.38E-04							2.58	-1.57E-04	1.94E-04	1.68	-1.20E-04	1.48E-04
		Promedio	-9.81E-05	1.21E-04		-1.88E-04	2.32E-04		-1.89E-04	2.34E-04		-1.19E-04	1.46E-04		-1.01E-04	1.25E-04

Tabla 21 Velocidad de secado bandeja triangular Prueba

Numero bandeja	Peso inicial	Peso 6 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 14 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²	Peso 23 horas (Kg)	humedad libre	Velocidad kg/s.m ²
2	12.5	8.67	-1.77E-04	4.43E-04				1.84	-1.29E-04	3.22E-04
5	5.76				1.65	-8.15E-05	2.04E-04	0.85	-5.93E-05	1.48E-04
7	6.3				1.78	-8.97E-05	2.24E-04	0.92	-6.50E-05	1.62E-04
		Promedio	-1.77E-04	4.43E-04		-8.56E-05	2.14E-04		-8.43E-05	2.11E-04

Tabla 22 Puntaje análisis sensorial

Puntaje	Significado
1	me gusta
0.5	me gusta poco
0	no me gusta

Tabla 23 Análisis sensorial muestra No. 1

Muestra no. 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Color	0	0.5	0	0	1	0	1	0	0	0.5	30.00
Forma	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10.00
Sabor	0.5	0	1	1	0.5	0	1	0	0.5	0.5	50.00
Textura	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0	0	25.00

Tabla 24 Análisis sensorial muestra No. 2

Muestra no. 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Color	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	80.00
Forma	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	95.00
Sabor	1	1	0.5	0.5	1	1	0	1	1	1	80.00
Textura	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	90.00

Tabla 25 Análisis sensorial total

Característica	Muestra no. 1	Muestra no. 2
Color	3	8
Forma	1	9.5
Sabor	5	8
Textura	2.5	9
TOTAL	28.75	86.25

Tabla 26 Balance de energía No.1

Tiempo	Temperatura de bulbo seco (°C)	Porcentaje de humedad	Temperatura de bulbo humedo	Humedad absoluta (Kg/Kg)	Entalpía(kj/Kg)	Volumen específico (m3/Kg)	Flujo másico de aire (kg)	Calor ingresado (kj)	Calor de salida(kj)	Peso del producto (Kg)
0	42	44.87	30.17	0.0283	115.204	1.12	4.165714286	9.13E+04		1836.25
3	70	9.35	32.25	0.022	128.75	1.2	13996.8	4.44E+07	1.77E+06	1530.30
4	57	45.48	42.82	0.064	223.85	1.233	13622.18978	4.44E+07	3.05E+06	1224.34
5	58	41.24	42.12	0.06	215.92	1.23	13655.41463	4.44E+07	2.95E+06	918.39
6	58	13.5	28.75	0.019	106.72	1.156	14529.55017	4.44E+07	1.56E+06	612.43
7	59	40.81	42.78	0.0629	223.45	1.24	13545.29032	4.44E+07	3.03E+06	306.48
8	60	39.65	43.15	0.064	227.79	1.245	13490.89157	4.44E+07	3.08E+06	0.52
9	61	36.63	42.74	0.062	222.92	1.245	13490.89157	4.44E+07	3.01E+06	131.25
10	61	37.73	43.19	0.064	228.27	1.248	13458.46154	4.44E+07	3.10E+06	131.25
11	65	29.79	42.74	0.06	222.95	1.256	13372.73885	4.44E+07	2.98E+06	131.25
12	65	28.29	41.98	0.057	214.29	1.25	13436.928	4.44E+07	2.88E+06	131.25
13	65	29.79	42.74	0.06	222.95	1.185	14173.97468	4.44E+07	3.16E+06	131.25
14	65	28.51	42.09	0.057	215.55	1.251	13426.18705	4.44E+07	2.89E+06	131.25
15	65	1.93	22.36	0.0036	74.67	1.152	14580	4.44E+07	1.09E+06	131.25
16	65	30.65	43.17	0.062	227.96	1.259	13340.87371	4.44E+07	3.01E+06	131.25
17	60	13.5	29.92	0.0204	113.69	1.166	14404.93997	4.44E+07	1.64E+06	131.25
18	60	39.65	43.15	0.064	227.79	1.245	13490.89157	4.44E+07	3.07E+06	131.25
21	60	30.07	39.07	0.047	184.23	1.214	13835.38715	4.44E+07	2.20E+06	131.25

Tabla 27 Balance de energía prueba

Temperatura de bulbo seco (°C)	Porcentaje de humedad	Temperatura de bulbo humedo	Humedad absoluta (Kg/Kg)	Entalpía(kJ/Kg)	Volumen específico (m3/Kg)	Flujo másico de aire (kg)	Calor ingresado (kJ)	Calor de salida(kJ)	Peso del producto (Kg)
38	52.47	28.76	0.0267	106.786	1.1	4.24E+00	6.39E+04		1836.25
42	44.87	30.17	0.0283	115.205	1.17	1.44E+04	2.85E+07	1.67E+06	1748.70
54	51.22	42.138	0.062	216.077	1.22	1.38E+04	2.85E+07	2.97E+06	1661.15
52	55.09	41.55	0.061	209.573	1.209	1.39E+04	2.85E+07	2.91E+06	1573.60
50	52.13	38.956	0.051	183.102	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.60E+06	1486.05
50	51.31	38.72	0.05	180.843	1.184	1.42E+04	2.85E+07	2.57E+06	1398.50
50	52.3	39.005	0.0514	183.571	1.186	1.42E+04	2.85E+07	2.60E+06	1310.95
50	52.13	38.956	0.0512	183.102	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.60E+06	1223.41
50	51.89	38.886	0.0509	182.44	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.59E+06	1135.86
50	52.1	38.95	0.0512	183.019	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.59E+06	1048.31
50	52.13	38.956	0.0512	183.102	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.60E+06	960.76
50	51.65	38.82	0.0507	181.78	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.58E+06	873.21
50	52.21	38.978	0.0513	183.323	1.186	1.42E+04	2.85E+07	2.60E+06	785.66
50	51.95	38.9	0.0511	182.606	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.59E+06	698.11
50	52.15	38.96	0.0513	183.157	1.185	1.42E+04	2.85E+07	2.63E+06	610.56
57	46.07	43.02	0.0648	226.24	1.235	1.36E+04	2.85E+07	3.09E+06	523.01
60	38.72	42.79	0.0625	223.47	1.242	1.35E+04	2.85E+07	3.02E+06	435.46
60	36.08	41.71	0.0578	211.309	1.234	1.36E+04	2.85E+07	2.88E+06	347.91
60	32.18	40.03	0.051	193.64	1.221	1.38E+04	2.85E+07	2.65E+06	260.36
58	47.82	44.47	0.071	243.35	1.25	1.34E+04	2.85E+07	3.28E+06	172.82
60	44.59	45.03	0.073	251.12	1.26	1.33E+04	2.85E+07	3.35E+06	131.25
60	41.02	43.68	0.067	234.2	1.25	1.34E+04	2.85E+07	3.15E+06	131.25
60	41.24	43.77	0.067	235.23	1.25	1.34E+04	2.85E+07	3.21E+06	131.25
68	27.36	43.74	0.063	234.81	1.27	1.32E+04	2.85E+07	3.09E+06	131.25
65	23.28	39.25	0.046	185.95	1.23	1.37E+04	2.85E+07	2.54E+06	131.25
65	20.55	37.63	0.04	170.89	1.22	1.38E+04	2.85E+07	2.38E+06	131.25
70	17.48	38.95	0.043	183.06	1.24	1.35E+04	2.85E+07	2.07E+06	131.25