

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR TIPO BANDEJA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE FRUTAS ORGÁNICAS TIPO SNAKS PARA ECOVITALE  
ORGÁNICO

LUIS DAVID SANTANA LOZANO  
DAVID RICARDO CUBILLOS ORTIZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D.C  
2016

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR TIPO BANDEJA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE FRUTAS ORGÁNICAS TIPO SNAKS PARA ECOVITALE  
ORGÁNICO

LUIS DAVID SANTANA LOZANO  
DAVID RICARDO CUBILLOS ORTIZ

Proyecto Integral de Grado para optar el título de:  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D.C  
2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Edgar Fernando Moreno T.  
Presidente del Jurado

---

Ing. Luis Hernán Vélez Agudelo  
Jurado 1

---

Ing. Javier Francisco Rey R.  
Jurado 2

Bogotá D.C. Agosto 24 de 2016

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

La vida se encuentra plagada de restos, y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella, me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo del que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y a mi futuro. Le agradezco a mis padres y a mi familia por sus esfuerzos para que finalmente pudiera graduarme como un feliz profesional. Adicionalmente agradezco a July por su compañía y apoyo en mi vida.

Luis David Santana Lozano

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar, cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios. A mi familia en genera, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos. A mis padres, los verdaderos autores.

David Ricardo Cubillos Ortiz

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	17
1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FRESA	17
1.1.1 Propiedades físico-químicas de la fresa	18
1.2 DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS	21
1.2.1 Proceso de deshidratación	22
1.2.2 Factores que afectan el proceso de deshidratación	24
1.2.3 Estudio de mercado	25
1.3 CARTA PSICOMÉTRICA A CONDICIONES BOGOTÁ DC	25
1.4 DESHIDRATADORES DE BANDEJAS	27
2. DISEÑO DEL DESHIDRATADOR PILOTO	29
2.1 BALANCE DE MASA SIN RECIRCULACIÓN	29
2.2 BALANCE DE ENERGÍA SIN RECIRCULACION	33
2.3 BALANCE DE MASA CON RECIRCULACIÓN	36
2.4 BALANCE DE ENERGÍA CON RECIRCULACIÓN	40
2.5 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL DESHIDRATADOR PILOTO	41
3. EXPERIMENTACIÓN EN EL DESHIDRATADOR PILOTO	46
3.1 PROCESO PARA DESHIDRATAR	46
3.1.1 Metodología de evaluación	47
3.2 SECADO DE FRESAS	48
3.2.1 Prueba de humedad inicial de la fresa	50
3.2.2 Deshidratación de fruta	51
3.3 CURVAS DE SECADO	53
3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
3.4.1 ANOVA (Análisis de varianza)	55
3.4.2 Graficas de interacción multivariable	57
3.4.3 Comparación visual de la fresa deshidratada	60
3.4.4 Análisis de resultados del diseño de experimentos	62
3.4.5 Pruebas de laboratorio	62
4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL DESHIDRATADOR	63
4.1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	63
4.2 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES	63
5. COSTOS	66
5.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	66
5.1.1 Piloto	66
5.1.2 Deshidratador	67

5.1.3 Comparación con equipos del mercado	67
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	68
5.2.1 Piloto	68
5.2.2 Deshidratador	69
5.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN	70
6. CONCLUSIONES	71
7. RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	78

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones nutricionales de la fresa	18
Tabla 2. Especificaciones de la fresa según referencias	20
Tabla 3. Condiciones del aire de entrada y salida	32
Tabla 4. Resumen másico de compuestos en la fresa	35
Tabla 5. Resumen de balance de masa y energía sin recirculación para la fresa	36
Tabla 6. Resumen tabla de balance de masa y energía con recirculación	41
Tabla 7. Resultados a cada temperatura con factor de servicio	44
Tabla 8. Prueba de espaciamento entre bandejas	49
Tabla 9. Combinaciones de las pruebas de secado	50
Tabla 10. Masas de bandejas con y sin frutas	51
Tabla 11. Contenido de fibra y agua prueba 1	52
Tabla 12. Humedades en base húmeda y seca prueba 1	53
Tabla 13. Resultados obtenidos en las pruebas	55
Tabla 14. ANOVA multifactorial	57
Tabla 15. Comparación visual de la fresa según las diferentes variables	61
Tabla 16. Comparación contenido de vitamina C	62
Tabla 17. Resumen de variables encontradas en el Balance de masa y energía	63
Tabla 18. Costos de materiales y construcción del piloto	66
Tabla 19. Costos de materiales y construcción del deshidratador	67
Tabla 20. Comparación costo de compra deshidratadores	68
Tabla 21. Consumo energético del deshidratador piloto	69
Tabla 22. Consumo energético del deshidratador EcoVitale Orgánico	70
Tabla 23. Comparación de precio por kg de fruta deshidratada	70

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Índice de maduración de la fresa aceptada para Colombia	22
Fotografía 2. Fresas lavadas	46
Fotografía 3. Fresas cortadas	47
Fotografía 4. Fresas en la bandeja	48
Fotografía 5. Fresas deshidratadas	48
Fotografía 6. Anemómetro	49
Fotografía 7. Fresa fresca y fresa con % de humedad después de 24 horas	51

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de proceso de deshidratación	24
Figura 2. Carta Psicométrica a condiciones de Bogotá (560 mmHg)	26
Figura 3. Esquema típico de un deshidratador de bandejas	28
Figura 4. Diagrama de bloques del balance de masa sin recirculación	29
Figura 5. Ruta termodinámica en diagrama psicométrico	31
Figura 6. Propiedades del aire de entrada, Tbs: 18°C, HR: 55%	31
Figura 7. Propiedades del aire de entrada, Tbs: 50°C, HR: 90%	32
Figura 8. Diagrama de bloques del balance de masa con recirculación	36
Figura 9. Valores para el punto de mezcla	40
Figura 10. Esquema sencillo del deshidratador piloto	45

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Curva de secado en base húmeda a HR: 90%, 60°C y 8m/s	54
Gráfica 2. Curva de secado en base seca a HR: 90%, 60°C y 8m/s	54
Gráfica 3. Interacción entre humedad relativa y humedad	57
Gráfica 4. Interacción entre velocidad de aire y humedad	58
Gráfica 5. Interacción entre temperatura y humedad	58
Gráfica 6. Interacción entre vel. aire, humedad relativa y humedad	59
Gráfica 7. Interacción entre temperatura, humedad relativa y humedad	59
Gráfica 8. Interacción entre temperatura, vel. aire y humedad	60

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Estudio de mercado	79
Anexo B. Caja de control deshidratador piloto	85
Anexo C. Fotos del deshidratador piloto	87
Anexo D. Fotos del patrón, la calibración y la ficha técnica de la balanza	95
Anexo E. Resultados de las pruebas de secado	101
Anexo F. Pruebas de laboratorio fresa deshidratada	124
Anexo G. Especificaciones del motor	126
Anexo H. Caja de control del deshidratador	129
Anexo I. Manual de operaciones del deshidratador	131
Anexo J. Planos	134

## RESUMEN

En este trabajo se realizó una propuesta de diseño de un deshidratador tipo bandejas.

Se muestra diferentes propiedades físico-químicas de la fresa (*fragaria ananassa*) buscadas en la bibliografía, al igual que diferentes condiciones de operación de la deshidratación de fresa como son la temperatura, velocidad del aire y el tiempo de operación.

Se planteó el balance de masa y energía con y sin recirculación de aire para la construcción de un deshidratador piloto, se especificaron las partes del mismo y posteriormente se realizaron pruebas de secado de fresa teniendo en cuenta tres variables de cambio, como lo son la temperatura (50°C, 55°C y 60°C), la velocidad del aire (8m/s y 4m/s) y la humedad relativa dentro de la maquina (80% y 90%).

Se realizaron las curvas de secado con las que se realizó un diseño de experimentos para determinar las condiciones de operación que aseguren el menor tiempo de proceso y el menor maltrato posible a la fresa.

Se determinó que las condiciones de operación óptimas para el proceso son una temperatura de 55°C, una velocidad de aire de 8m/s y una humedad relativa dentro del equipo de 80%, con el que se asegura un tiempo de proceso de 5 horas para asegurar una humedad de la fruta entre 13 y 15%.

Se replanteó el balance de masa y energía para el deshidratador EcoVitale Orgánico de acuerdo a los requerimientos de producción de la empresa. Se realizó el diseño de acuerdo a lo obtenido en el deshidratador piloto y se hicieron los respectivos planos.

Por último se calcularon los costos de construcción y operación estimados tanto para el deshidratador piloto como para el deshidratador EcoVitale Orgánico.

## INTRODUCCIÓN

Es este trabajo se evidencia la *importancia* de un diseño propio de un deshidratador de fruta que se adapte a las necesidades y capacidades tanto económicas como productivas, de una micro empresa como lo es EcoVitale Orgánico.

A partir de la conservación de frutas, inicia el *origen* del proyecto, que por medio de la deshidratación, permite la reducción de peso y volumen de la fruta, logrando un mayor almacenamiento y la reducción en costos de transporte, buscando que la vida útil de la fruta se alargue y que no pierda ni su sabor característico ni sus propiedades nutricionales.

El presente trabajo de grado, tiene como *objetivo* general “Desarrollar una propuesta de un deshidratador tipo bandejas para la producción de frutas orgánicas tipo snaks para EcoVitale Orgánico”; y entre sus tareas las siguientes:

- Estimar los requerimientos de producción y propiedades físico-químicas de la materia prima.
- Establecer las condiciones de operación por medio de un deshidratador de bandejas piloto.
- Escalar el proceso de deshidratación de la producción de snaks de frutas orgánicas.
- Evaluar los costos de construcción y operación del deshidratador para la producción de snaks de frutas orgánicas.

Dentro de los *alcances* del trabajo se encuentra el diseño básico y la construcción de un deshidratador piloto, y el diseño básico del deshidratador para EcoVitale Orgánico, pero no su construcción. Además, los diseños no toman en consideración la purificación del aire de entrada al equipo por su elevado costo de tratamiento.

El desarrollo de este proyecto se *limita* a la capacidad económica y productiva de una micro empresa en Colombia.

La *metodología* implementada para desarrollar el proyecto fue como primera medida un estudio de la fresa deshidratada comercializada en Bogotá, determinando la calidad general y el precio del producto. Luego de esto, se buscó la caracterización de la fresa por medio de bibliografía y las condiciones de proceso para las cuales se podía deshidratar la fresa. Posteriormente se realizaron los cálculos pertinentes para la construcción del deshidratador piloto, se construyó, y en él se realizaron las pruebas de secado. Se continuo con la determinación de las condicione de operación adecuadas por medio del diseño de experimentos y de la

calidad del producto obtenido. Se finalizó con el diseño básico y planos del deshidratador para EcoVitale Orgánico, costos de construcción y operación para el piloto y la propuesta.

A nivel nacional e internacional se *utiliza* la deshidratación como un medio de conservación para alimentos; con el desarrollo de esta propuesta se espera dar una oportunidad de negocio a una micro empresa acoplándose a sus necesidades y capacidades internas para aumentar su crecimiento y desarrollo.

## 1. GENERALIDADES

Existen diversos métodos para la conservación de fresa, entre uno de los más utilizados se encuentra la deshidratación por medio de aire caliente, debido a que el aire caliente no maltrata las propiedades de la fruta como lo pueden hacer otros métodos de conservación como la esterilización, la adición de aditivos, entre otros.

Entre los equipos para deshidratar frutas se encuentra el deshidratador de bandejas, el cual es un equipo relativamente sencillo en cuanto a operación y construcción, donde, las propiedades del aire son de vital importancia para el uso del equipo y para ello se dispone de la carta psicométrica, brindando información del aire para establecer variables de operación.

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FRESA (*FRAGARIA ANANASSA*)

La fresa *fragaria ananassa* es proveniente de un cruce entre especies como la *F. virginiana* y la *F. chiloensis* y actualmente se ha convertido en una de las frutas más cultivadas a nivel mundial, debido a su adaptación a las diferentes condiciones climáticas, no obstante, su predominio se encuentra en zonas templadas.

En realidad es un fruto falso debido al engrosamiento del receptáculo floral y sobre él se encuentra gran cantidad de semillas pequeñas que son los frutos verdaderos, su color indica su estado de maduración, esta varía de color, verde claro, blanco-rosado o rojo intenso para frutas maduras. Las fresas se caracterizan por tener una alta humedad en relación con otras frutas (90-93%), su alto contenido de vitamina C, minerales y su bajo contenido calórico aportado la hace un alimento nutritivo y saludable, además ayudan a purificar el sistema digestivo, eliminando toxinas presentes en el organismo.<sup>1</sup>

El sabor de la fresa se ve afectado por el balance de azúcar y acidez, debido a que posee una serie de azúcares y ácidos con diferentes grados de concentración según la variedad de la misma. Generalmente tienen forma cónica y son alargadas; sin embargo, dependiendo de la variedad, pueden variar su forma.<sup>2</sup>

---

1 FERRUCHO Ana Maria, RUÍZ Diana. evaluación y comparación del comportamiento agronómico de dos cultivares de fresa ('albion' y 'monterey') sembrados a libre exposición y bajo macrotúnel en la sabana de bogotá (colombia). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de ciencias básicas y aplicadas. Tesis biología aplicada. Cajicá. 2013. [En línea] Disponible en (<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11635/1/Ferrucho%20y%20Ruiz.%202014.%20Evaluaci%C3%B3n%20y%20comparaci%C3%B3n%20del%20comportamiento%20agron%C3%B3mico%20de%20fresa.pdf> )

2 FONSECA VASCO LUIS FELIPE. Manual de la fresa. Cámara de Comercio. Bogotá. Primera edición. 2015. Página 13. [En línea] Disponible en (<http://bibliotecadigital.ccbe/11520/14312/Fresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

En la agricultura colombiana la fresa ha tomado gran relevancia por sus propiedades nutricionales tabla 1, organolépticas y por ser considerada una fruta exótica, convirtiéndose competitivamente en una gran alternativa de mercado nacional.

El departamento de Cundinamarca es el mayor productor en Colombia, en él se destaca la sabana de Bogotá. Esta región cumple con las condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo, entre 15 y 20 °C, las cuales influyen en la calidad, productividad y rendimiento de la fruta cosechada.<sup>3</sup>

Tabla 1. Especificaciones nutricionales de la fresa

Nombre	Nombre Científico	Agua (%)	Energía (Kcal)	Proteína (g)	Grasa Total (g)	Carbohidrato (g)
Fresa	Fragaria Ananassa	90,95	32,0	0,67	0,3	7,68
		Fibra Total (g)	Ceniza (g)	Calcio (mg)	Fosforo (mg)	Hierro (mg)
		2,0	0,4	16,0	24,0	0,42
		Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Vitamina C (mg)	Potasio (mg)
		0,02	0,02	0,39	57,0	153,0
		Sodio (mg)	Zinc (mg)	Magnesio (mg)	Vit. B6 (mg)	Vit. B12 (mcg)
		1,0	0,14	13,0	0,05	0,0
		Ac. Grasos mono-insa. (g)	Ac. Grasos poli-insa. (g)	Ac. Grasos poli-satu. (g)	Ac. Fólico (mcg)	Fracción comestible (%)
		0,04	0,16	0,01	24,0	0,94

Fuente. MENCHÚ María Teresa, MÉNDEZ Humberto. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. Incap. Panamá. Segunda edición. 2012. Página 56. I.S.B.N. 99922-880-2-7. [En línea] Disponible en (<https://deymergfili.wordpress.com/2013/07/tabla-de-composicion-de-alimentos-paractoaerica-del-incap.pdf>)

1.1.1 Propiedades físico-químicas de la fresa. El peso de la fresa varía según la variedad y cultivo, entre 7-16 gramos, una de las propiedades de mayor importancia se denomina como °Brix que se expresa como la cantidad de sólidos solubles

<sup>3</sup> EMPRESARIO. Ficha de producto fresa. Ecofisiología. Requerimientos nutricionales. [En línea] Disponible en ([http://www.empresario.com.co/recursos/page\\_flip/MEGA/mega\\_fresa/](http://www.empresario.com.co/recursos/page_flip/MEGA/mega_fresa/))

presentes en la pulpa y se expresa como porcentaje de azúcar <sup>4</sup>, esta propiedad es importante ya que determina la productividad de una planta de procesamiento.

El agua contenida en la fresa y en cualquier otra fruta se distribuye y se comporta de manera irregular. Se presenta agua libre, que se comporta de manera similar al agua pura y que existe principalmente en los espacios vacíos de la fibra y es solo retenida por las membranas de las células. Este tipo de agua se puede extraer fácilmente de las frutas cortándolas o por medios mecánicos. El segundo tipo es el agua ligada, en las que las moléculas de agua tienen más uniones estructurales que el agua libre como puentes hidrogeno a grupos carboxilo, amino o zonas iónicas de moléculas como las de almidones, pectinas y proteínas. Esta agua ligada es la más difícil de retirar aun por métodos artificiales. Una de las características del agua ligada es que no actúa como solvente de para las sales y azúcares, esencialmente no presentan presión de vapor y posee una mayor densidad que el agua libre.

La cantidad y tipos de agua varían en cada alimento, esto de acuerdo a las características propias de las células, así como la cantidad de carbohidratos, sales y ácidos y grasas.

Las frutas forman parte de los alimentos con mayor cantidad de nutrientes y sustancias altamente beneficiosas para la salud. Aparte de entregar proteínas, carbohidratos, minerales, que son esenciales para el cuerpo, aportan una gran cantidad y variedad de vitaminas. La vitamina que más abunda en las frutas y en la fresa en específico, es la vitamina C o ácido ascórbico. Esta vitamina no se sintetiza ni se almacena en el nuestro cuerpo por lo cual se debe proveer por la alimentación, y siendo esta vitamina un gran antioxidante, se convierte en un protector de diferentes tejidos, huesos y células de nuestro organismo.

En la tabla 2 se recogen información de varios autores y fuentes de la humedad, contenido de vitamina C y °Brix de la fresa, debido a que son las propiedades más importantes, y que se tomarán en cuenta para el proceso de deshidratación. Según los diferentes autores, una temperatura inferior a 50°C, extiende el tiempo de proceso, y a temperaturas superiores a 60°C, la calidad nutricional y estética de la fresa puede verse afectada.

---

4 FONSECA VASCO LUIS FELIPE. Manual de la fresa. Cámara de Comercio. Bogotá. Primera edición. 2015. Página 1-13. [En línea] Disponible en (<http://bibliotecadigital.ccbe/11520/14312/Fresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Tabla 2. Especificaciones de la fresa según referencias

5	Humedad inicial (%)	90 a 93
	Contenido de Azúcar inicial (°Brix)	6 a 10
6	Contenido de Azúcar inicial (°Brix)	5 a 8
	Vitamina C inicial (mg/100g)	41 a 58
7	Humedad inicial (%)	91,5
	Vitamina C inicial (mg/100g)	56,7
8	Temperatura de secado (°C)	40 - 70
	Tiempos de operación (h)	1 a 7
	Velocidad de aire (m/s)	2 a 8
9	Humedad inicial (%)	93,2
	Humedad Final (%)	20
	Temperatura de secado (°C)	50, 55 y 65
	Velocidad de aire (m/s)	1,2
10	Humedad inicial (%)	91,2
	Humedad Final	11,2
	Contenido de Azúcar inicial (°Brix)	7,8
	Temperatura secado (°C)	40
	Velocidad de aire (m/s)	4,5
11	Contenido de Azúcar inicial (°Brix)	6,35 a 8,61

- 5 MARTINEZ G., MERCADO J., LÓPEZ M., PRIETO Z.. Propiedades fisicoquímicas de seis variedades de fresa (*fragaria ananassa*) que se cultivan en Guanajuato. Instituto de ciencias agrícolas de la Universidad de Guanajuato. México. 2008. Página 6,7. [En línea] Disponible en (<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/.../A071.pdf>)
- 6 SAMEC Dunja, MARETIC Marina, LUGARIC Ivana, MESIC Aleksandra, SALOPECK Branka, DURALIJA Boris. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. Food Chemistry. Edición 194. Croacia. 2015. Página 831. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))
- 7 BOTANICAL. Fresas y fresones. Propiedades alimentarias de las hojas del fresal. Composición de las fresas. [En línea] Disponible en (<http://www.botanical-online.com/fresasfresones.htm>)
- 8 GAMBOA Juliana, MEGIAS Roberto, SORIA Cristina, OLANO Agustin, MONTILLA Antonia, VILLAMIEL Mar. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry. Madrid. Edición 153. 2014. Página 166. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))
- 9 DOYMAS Ibrahim. Convective drying kinetics of strawberry. Chemical Engineering and Processing. Turquía. Edición 47. 2008. Página 915. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))
- 10 INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SECADO EN PARÁMETROS DE CALIDAD RELACIONADOS CON LA ESTRUCTURA Y EL COLOR DE MANZANA Y FRESA DESHIDRATADA. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Tesis doctoral. Valencia. 2006. [En línea] Disponible en (<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf>)
- 11 CASIERRA Fánor, PEÑA Jaime y VARGAS Andrés. Propiedades Fisicoquímicas de Fresas (*Fragaria sp*) Cultivadas Bajo Filtros Foselectivos. Revista Facultad de Agronomía Universidad Nacional. Medellín. 2011. Página tres. 0304-2847. [En línea] Disponible en (<http://www.re.dalyc.org/articulo.oa?id=179922664019>)

## 1.2 DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS

La deshidratación de frutas es una técnica muy utilizada hoy en día que permite reducir el grado de humedad de las frutas y verduras ayudando a detener el crecimiento de microorganismos los cuales son la principal causa de que estos deterioren. La deshidratación permite obtener alimentos sólidos con un contenido de agua inferior al 15%.<sup>12</sup>

Las principales ventajas radican en que la deshidratación de frutas y de verduras es uno de los sistemas más efectivos para su preservación durante un tiempo más prolongado, además de ello permite reducir considerablemente el peso y volumen de la fruta, permitiendo una mayor cantidad de almacenamiento de la misma y también reducir costos de transporte.<sup>13</sup>

En el proceso de deshidratación se busca que la fruta no pierda su sabor característico y sus cualidades nutricionales, para lo cual se deben establecer condiciones adecuadas que reduzcan al mínimo estos cambios. En este proceso no se utilizan aditivos, colorantes, conservantes ni azúcar adicional, lo que garantiza que sea un producto natural y saludable.

Para la deshidratación con aire caliente hay que tomar en cuenta varios factores que controlan la capacidad de absorción del aire y la velocidad de secado. Para el aire se toma en cuenta la velocidad con la que pasa sobre la fruta, la temperatura y la cantidad de agua presente en el mismo y para la velocidad del secado se toma en cuenta las condiciones de procesamiento, la naturaleza de las frutas y el diseño del equipo.

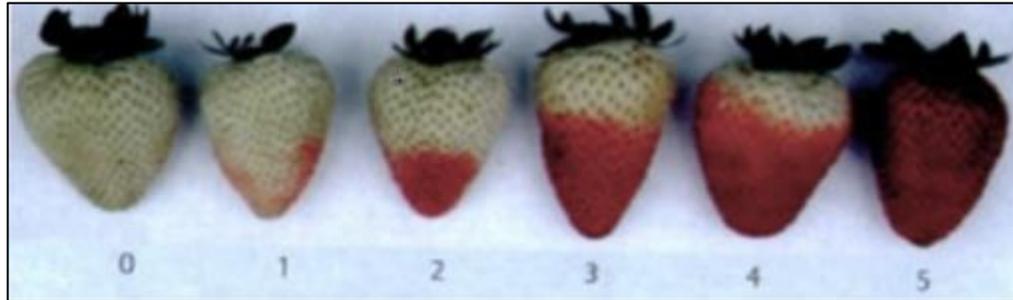
Para el proceso de deshidratación de frutas es necesario tener ciertas recomendaciones a fin de obtener buenos resultados, las rodajas deben tener un grosor muy similar entre sí, porque de no ser así los trozos menos gruesos se secarán mucho más de lo necesario y como consecuencia de ello podrían perder nutrientes y el producto final no sería homogéneo. Los bordes entre rodaja y rodaja no deben estar demasiado juntos para evitar que las rodajas no se peguen entre si y garantizar un flujo fácil del aire. A demás otro factor a tener en cuenta es el estado de maduración de la fruta, debido a que según su estado cambia factores como la humedad y °Brix, en la fotografía 1 se observan el nivel de maduración aceptado en Colombia.

---

12 FRUTA SECA DE VERONA. Preguntas frecuentes. Qué es deshidratación. [En línea] Disponible en (<http://www.frutasecaverona.com/esp.html>)

13 FRUTA SECA DE VERONA. Preguntas frecuentes. Cuáles son las ventajas de las frutas deshidratadas. [En línea] Disponible en (<http://www.frutasecaverona.com/esp.html>)

Fotografía 1. Índice de maduración de la fresa aceptada para Colombia



Fuente. FONSECA VASCO LUIS FELIPE. Manual de la fresa. Cámara de Comercio. Bogotá. Primera edición. 2015. Página 32. [En línea] Disponible en (<http://bibliotecaDigital.ccbe/11520/14312/Fresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

1.2.1 Proceso de deshidratación. El secado puede ser expresado o descrito de diferentes maneras, entre ellas el contenido de humedad que se expresa como la cantidad de humedad por unidad de peso de sólido seco o húmedo. La humedad en base húmeda expresa la humedad del sólido como porcentaje del peso de sólido húmedo y si la humedad es en base seca, se expresa como un porcentaje del peso del sólido seco.

El secado ocurre por medio de la transferencia de calor del aire caliente, por medio de la convección, al agua que se encuentra en la fruta, haciendo que esta se evapore. El aire caliente cumple una doble función, en primer lugar, el aire suministra el calor necesario al agua para evaporarla y en segundo lugar sirve para evacuar el agua en forma de vapor hacia la salida del deshidratador permitiendo que siempre haya presencia de aire fresco.<sup>14</sup>

El secado de las frutas es una operación que involucra procesos de transferencia de calor y de masa de forma simultánea. La velocidad de secado es de vital importancia debido a que ayuda a fijar condiciones de operación óptimas para los sólidos a secar tales como la temperatura y tiempo necesario para llegar hasta la humedad deseada, además para determinar un tamaño adecuado del equipo.

En el momento de determinar los periodos de secado se debe conocer que el proceso se divide en tres partes, una fase inicial de precalentamiento, una fase de velocidad de secado constante y por ultimo una fase de velocidad de secado decreciente. La fase de precalentamiento transcurre mientras el agua en la fruta se calienta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo, temperatura a la cual un

---

14 CAICEDO Jorge, ORTÍZ Fabián. Diseño conceptual de un secador para la adecuación del porcentaje de humedad del cáliz de la uchuva de exportación. Fundación Universidad de América. Tesis facultad de Ingenierías. Ingeniería Química. Bogotá. 2006

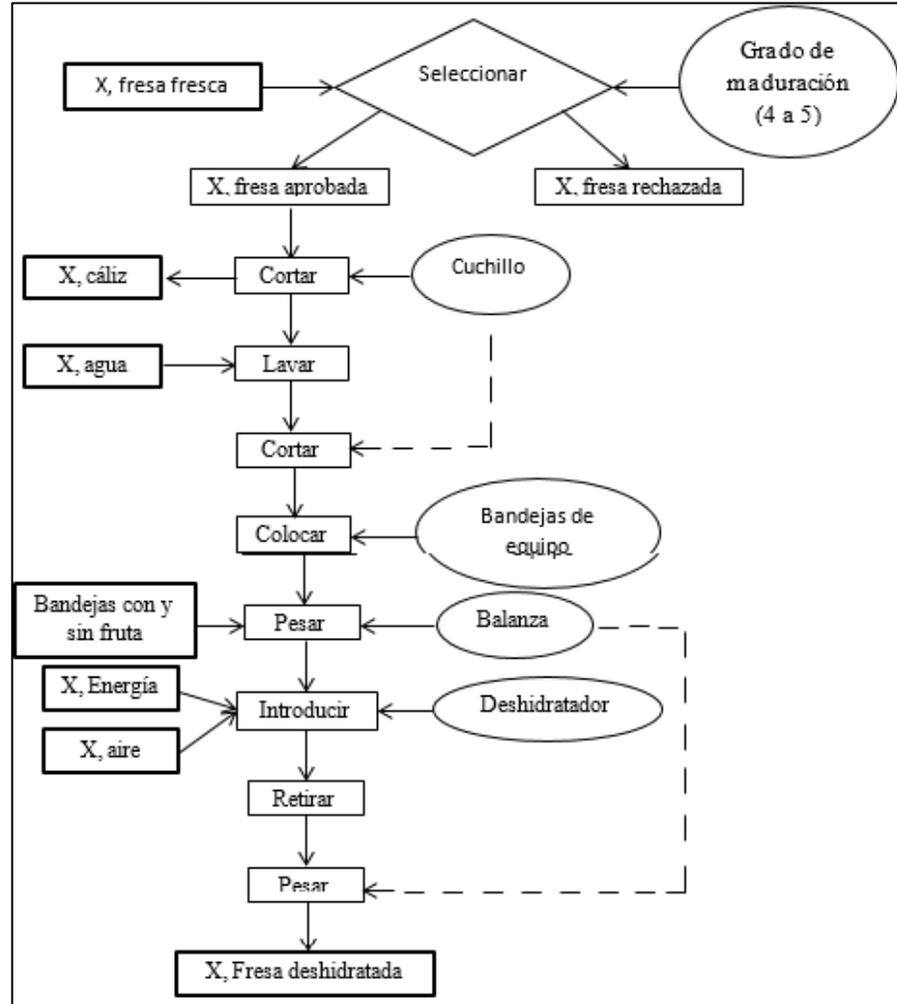
termómetro cuyo bulbo está rodeado de un medio poroso, en este caso la fruta se mantiene totalmente húmeda al ponerse en contacto con el aire; en esta fase la transferencia de masa es muy lenta, por lo que la fruta se encuentra a una temperatura inferior a la que se evapora el agua y como consecuencia su presión de vapor es baja, el gradiente de temperatura entre el aire y la fruta es grande generando una transferencia de calor alta; la fase de precalentamiento finaliza cuando la temperatura de la fruta iguale la temperatura del aire. La fase de velocidad constante es en donde hay una importante reducción del contenido del agua de la fruta, la cual es eliminada a un flujo másico constante en la superficie de la fruta a una temperatura constante. En esta fase el flujo de calor intercambiado entre el aire y la fruta es utilizado solo para la evaporación del agua y continuará mientras que la superficie de la fruta este alimentada por agua líquida proveniente del interior de la fruta por el fenómeno de capilaridad; la fase de velocidad constante finaliza cuando el contenido de humedad de la fruta alcance el valor de la humedad crítica, siendo está no una propiedad de la fruta sino el punto en donde el flujo másico de secado deja de ser constante y depende de las condiciones del aire. La fase de velocidad decreciente es aquella en donde la velocidad de secado disminuye debido a que la superficie externa de evaporación se reduce bruscamente, este fenómeno es provocado porque el volumen de agua en el interior de la fruta es bajo. La brusca reducción de la superficie externa de evaporación es la principal causa de la disminución de la velocidad de secado, la migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante del proceso; esta fase terminará cuando la fruta alcance su humedad de equilibrio (contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada del aire) y depende de las condiciones de secado.<sup>15</sup>

En la figura 1 se observa un diagrama de proceso sencillo de la deshidratación de frutas.

---

15 GEANKOPLIS CHRISTIE J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ceca. Minnesota. Tercera edición. 1998. Página 596. [En línea] Disponible en ([https://fenomenosdetransp.orte.files.wordpress.com/2008/05/g\\_eankopolis.pdf](https://fenomenosdetransp.orte.files.wordpress.com/2008/05/g_eankopolis.pdf))

Figura 1. Diagrama de proceso de deshidratación



1.2.2 Factores que afectan el proceso de deshidratación. Los principales factores que pueden afectar el proceso de deshidratación son la temperatura y la velocidad de aire, las condiciones del aire de entrada, el estado de maduración, corte y espesor de la fruta.

Si la temperatura y la velocidad de aire son muy bajas, el tiempo de proceso se ve afectado, pudiéndose extender al no haber las mejores condiciones para la transferencia de calor.

En cuanto al estado de la fruta, su estado de maduración es una variable de proceso, porque según este pueden variar propiedades de la fruta. El corte y espesor de la fruta se ven reflejados en la homogeneidad del producto y la estética del mismo.

1.2.3 Estudio de Mercado. Se realiza un pequeño estudio de mercado de la fresa deshidratada existente en el mercado, en donde cabe resaltar que la fresa se ve maltratada (encogida y quemada) por las condiciones de la deshidratación, las cuales parecen ser altas (el productor no especifica las condiciones de secado), el sabor del producto es insípido y no posee las características propias de la fresa (sabor y olor) y se observa un espesor muy delgado, lo que genera que se pierda el gusto por la misma. En el anexo A se observa una tabla con las marcas, información nutricional, precios, tamaños y pesos junto a algunas fotos del producto encontrado en el mercado.

### 1.3 CARTA PSICOMÉTRICA A CONDICIONES BOGOTÁ DC

La psicrometría involucra las propiedades del aire y el efecto de la humedad atmosférica sobre la fruta. Para interpretar propiedades como el volumen específico húmedo, humedad relativa, humedad absoluta y temperatura de bulbo seco, se utiliza un diagrama psicrométrico.

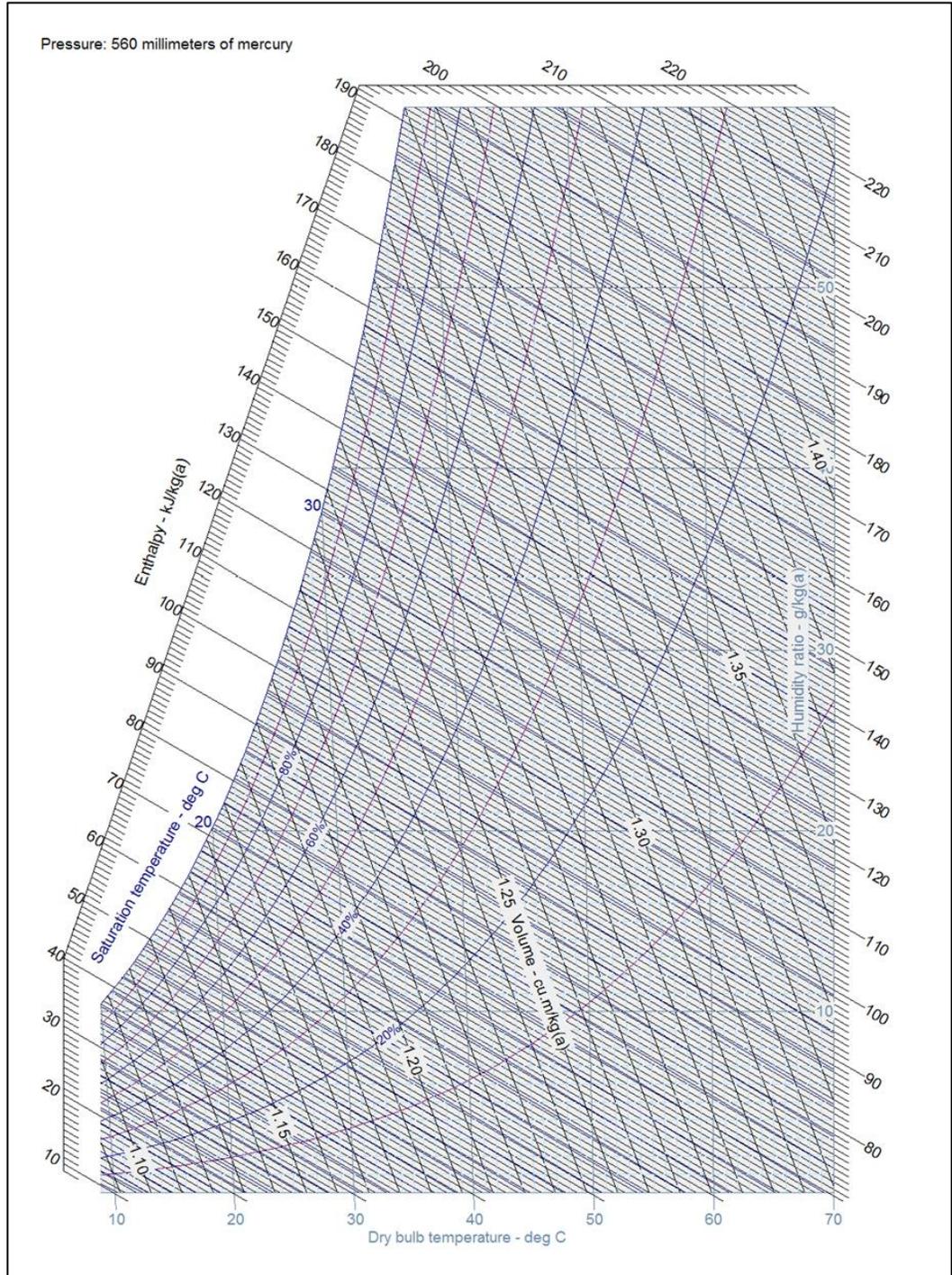
El diagrama psicrométrico estudia los valores de las propiedades del aire en conjunto. El empleo de la carta psicrométrica está generalizado a la industria en donde al aire ambiental pueda afectar o contribuir al proceso que se maneje y de acuerdo a la presión de trabajo varia.

La humedad absoluta y la temperatura de aire se representan en ordenadas y abscisas respectivamente. En el diagrama también se muestra la humedad relativa, temperatura de bulbo húmedo e isolinneas que atraviesan el diagrama que son las líneas isoentálpicas.

Para el cálculo de diferentes propiedades del aire y condiciones de proceso, se escogió el programa de licencia libre CYTsoftPsychrometric Chart 2.2 Demo, el cual permite el ingreso de la presión atmosférica, el rango de temperaturas y el de humedad absoluta a trabajar. Con las especificaciones necesarias, en el programa se elabora la carta psicrométrica, el programa provee una herramienta llamada calculadora, en donde se ingresan diferentes valores, como la temperatura de bulbo seco y húmedo, humedad relativa y absoluta, entre otros, para obtener otras condiciones.

La carta elaborada en la Figura 2 tiene un rango de temperatura de 10 a 70°C, una humedad absoluta de 10 a 60 gH<sub>2</sub>O/kg de aire seco y la presión de Bogotá (560 mmHg), para simular condiciones reales de trabajo.

Figura 2. Carta Psicrométrica a condiciones de Bogotá (560 mmHg)



Fuente. CYTsoftPsychrometric Chart 2.2 Demo; Modificada por los autores

#### 1.4 DESHIDRATADORES DE BANDEJAS

Este tipo de deshidratador está compuesto por un armario o cámara que puede albergar uno o dos ventiladores que hacen circular aire caliente a través de un grupo de bandejas, sobre los cuales se coloca el alimento a secar, apiladas en estantes o carretes. El aire puede ser calentado por medio de vapor, algún combustible o con corriente eléctrica, con el fin evaporar la humedad del alimento.

Este tipo de deshidratadores resultan convenientes para productos de tamaño pequeño y baja capacidad del equipo, lo que lo hace útil para deshidratar diferentes tipos de alimentos. En cada estante o carrete es posible apilar una cantidad determinada de bandejas que poseen una separación entre sí para permitir el flujo del aire caliente y la base de cada bandeja utilizada está hecha de una malla también para aumentar la circulación del aire caliente y mejorar la superficie en contacto con el aire seco. A los lados de las bandejas, se pueden instalar unas placas deflectoras con el fin de distribuir el aire caliente uniformemente por encima y por debajo de las bandejas.

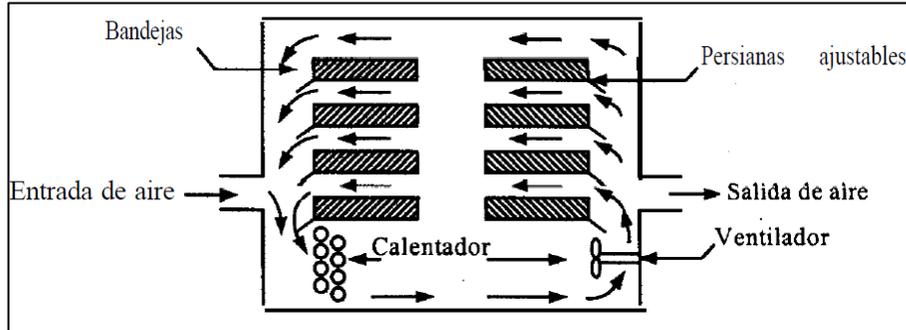
Este tipo de secador se maneja de manera discontinua ya que el contacto con el aire del ambiente afecta en gran medida la velocidad del proceso y es por eso que la carga de las bandejas de debe renovar al final de cada operación.

En la figura 3 se muestra el esquema típico de un secador de bandejas con sus componentes y da una idea más clara de su funcionamiento.

Los costos de instalación y montaje del equipo son bajos debido a la sencillez del mismo. En cuanto a la operación del equipo los costos generados son altos debido a las pérdidas de calor producidas y la cantidad de energía necesaria para calentar y mantenerlo a la temperatura deseada.

Es necesario tener cuidado con el tiempo en el que la cabina permanece abierta en contacto con el ambiente ya que se gasta más energía volviendo a calentar las piezas metálicas que se enfrían y el ingreso de aire frío. La mano de obra es un factor influyente ya que es necesario un control constante de los valores de proceso para evitar daños en el producto que puedan representar pérdidas considerables. La cantidad de mano de obra capacitada para acondicionar las frutas en las bandejas es un costo influyente.

Figura 3. Esquema típico de un deshidratador de bandejas



Fuente. GEANKOPLIS CHRISTIE .J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ceca. Minnesota. Tercera edición. 1998. Página 580. [En línea] Disponible en (<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>)

Una de las dificultades más importantes en la utilización de este tipo de secadores es la no uniformidad del contenido en humedad, propia del producto terminado que se extrae de diferentes partes del secador. Es importante eliminar las bolsas de aire estancado, mantener una humedad razonablemente uniforme y temperatura uniforme en todo el equipo, por ello se deben pasar grandes cantidades de aire sobre los platos, si es posible velocidades entre 3 a 9 m/s. Esto se puede lograr introduciendo solo una vez grandes cantidades de aire caliente fresco a través del secador, pero por costos, se acostumbra admitir solo cantidades pequeñas de aire fresco y recircular su mayoría (80 al 95%).<sup>16</sup>

En forma alternativa, los calentadores y ventiladores pueden instalarse por fuera del secador, con humidificadores que ayuden a controlar las cantidades relativas de aire fresco y recirculado permitidas en el equipo.

Es importante que los platos se llenen a nivel con el borde, pero que no se sobrecarguen, de manera que se tenga espacio libre para el movimiento del aire. La recirculación de grandes cantidades de aire hace que la humedad del aire en el secador aumente considerablemente más que la del aire fresco, por ello, se obtienen bajos porcentajes de humedad y en contraste un secado más rápido, utilizando temperaturas altas.

---

<sup>16</sup> TREYBAL Robert. Operaciones de transferencia de masa. McGraw-Hill. Estados Unidos. Segunda edición. 1988. Página 732

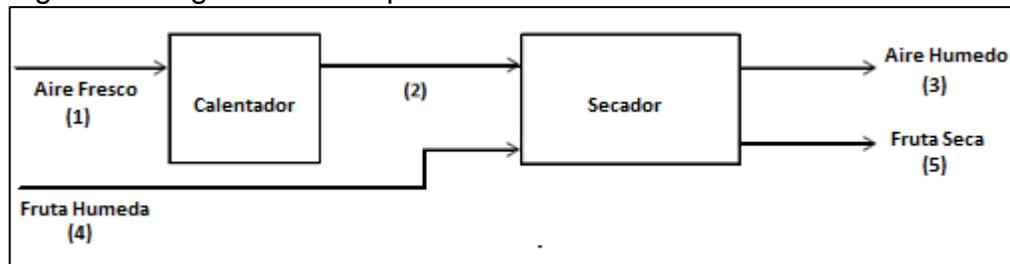
## 2. DISEÑO DEL DESHIDRATADOR PILOTO

A continuación se presenta los balances de masa y energía con y sin recirculación, las características del deshidratador, el diseño y especificaciones del mismo. Un rango de temperaturas de proceso a considerar, de acuerdo a la tabla 2 son de 50 a 60°C.

### 2.1 BALANCE DE MASA SIN RECIRCULACIÓN

Para el balance de masa sin recirculación se encuentra en la Figura 4, se tiene como referencia un proceso continuo de entrada y salida de aire y de fruta.

Figura 4. Diagrama de bloques del balance de masa sin recirculación



Variables conocidas del balance para la fresa

Corriente (1):

$Ha_1 = 0,009636 \text{ kg H}_2\text{O/kg AS}$   
 $T_{amb} = 18^\circ\text{C}$   
 $HR = 55\%$

Corriente (2):

$Ha_2 = 0,009636 \text{ kg H}_2\text{O/kg AS}$   
 $T = 50^\circ\text{C}$

Corriente (3):

$Ha_3 = 0,1094 \text{ kg H}_2\text{O/kg AS}$   
 $T = 48,1^\circ\text{C}$

Corriente (4):

$m_4 = 1,5 \text{ kg}$   
 $T = 14^\circ\text{C}$   
 $X_4 = 92\%$

Corriente (5):

$T = 48,1^\circ\text{C}$   
 $X_5 = 13\%$

Para encontrar la cantidad de aire requerido en el proceso, se plantea el siguiente balance para la fruta.

$$m_4 (1 - X_4) = m_5 (1 - X_5)$$

Donde:

$m_4$ : Masa de la corriente 4

$X_4$ : Fracción másica de agua en la fruta de la corriente 4

$m_5$ : Masa de la corriente 5

$X_5$ : Fracción másica de agua en la fruta de la corriente 5

Se despeja  $m_5$  para encontrar la cantidad de fruta deshidratada.

$$m_5 = m_4 \frac{(1 - X_4)}{(1 - X_5)}$$

$$m_5 = \frac{1,5 \text{ kg} * (1 - 0,92)}{(1 - 0,13)} = 0,138 \text{ kg de fruta deshidratada}$$

Para determinar el agua que se desea eliminar, se restan las cantidades de agua de la fruta inicial y el producto deshidratado.

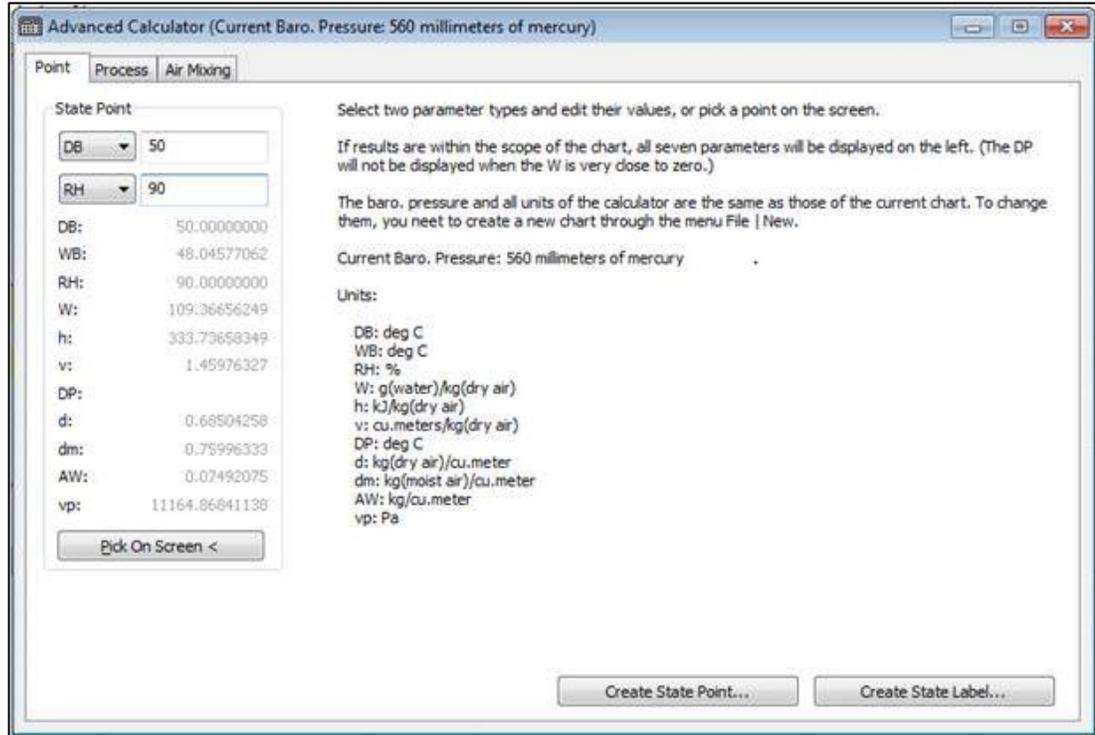
$$(m_4 * X_4) - (m_5 * X_5) = (1,5 * 0,92) - (0,138 * 0,13) = 1,36 \text{ kg de agua retirada}$$

El flujo de agua es retirado por el aire seco que entra a  $T_{amb}=18^\circ\text{C}$  y una humedad relativa  $HR=55\%$  (condiciones estadísticas de Bogotá en horas de la mañana y tarde) el cual será calentado hasta la temperatura de operación ( $50^\circ\text{C}$ ) y suponiendo a la salida un aire de humedad relativa del  $90\%$  con una temperatura de bulbo húmedo  $T_{Bh}=48,05^\circ\text{C}$ .

Estos datos se utilizan en el programa CYTSoftPsychrometric Chart 2.2 Demo (figura 6 y figura 7) para obtener las humedades absolutas de cada corriente y poder determinar que tanta agua retira 1kg de aire seco.



Figura 7. Propiedades del aire de entrada, Tbs: 50°C, HR: 90%



Fuente. CYTsoftPsychrometric Chart 2.2 Demo; Modificada por los autores

Tabla 3. Condiciones del aire de entrada y salida

Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (kg de agua / kg de aire seco)	Volumen específico (m³/kg aire seco)
18	55	0,0096	1,13
50	90	0,1094	1,46

Para encontrar la cantidad de agua que puede absorber el aire seco, se restan las humedades absolutas a 18°C y 50°C.

$$0,1094 - 0,009636 = 0,0997 \text{ kg de agua}$$

La cantidad de aire que se requeriría se calcula con la siguiente ecuación:

$$m_1 = \frac{H_2O_{out} \text{ (kg)}}{\Delta Ha \left( \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}} \right)}$$

Donde:

$m_1$ : Masa de aire seco en la corriente 1

$H_2O_{out}$ : Cantidad de agua a retirar

$\Delta Ha$ : Cantidad de agua que puede absorber el aire seco

Reemplazando los valores, se tiene:

$$m_1 = \frac{1,36 \text{ kg agua}}{0,0997 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}} = 13,66 \text{ kg de aire seco}$$

Para conocer el flujo de aire  $V_3$  que los ventiladores deberán manejar para llevar a cabo la deshidratación se toma en cuenta el mayor volumen específico que la masa de aire de la tabla 3 puede ocupar:

$$V_3 = m_1 * V \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg aire seco}} \right)$$

Donde:

V: Volumen específico a 50°C y HR: 90%

$$V_3 = 13,6 \text{ kg aire seco} * 1,46 \frac{\text{m}^3}{\text{kg aire seco}}$$

$$V_3 = 19,9 \text{ m}^3$$

## 2.2 BALANCE DE ENERGÍA SIN RECIRCULACIÓN

La transferencia de energía calórica al producto se realiza mediante aire caliente que es impulsado entre las bandejas por los ventiladores. La energía que se le va a suministrar al aire, es la energía necesaria para que la fruta se caliente desde la temperatura ambiente a la temperatura de operación y además para que el agua presente en ella se evapore. Teniendo en cuenta una humedad promedio de la fresa

fresca del 92% (teórico) y que se desea llevar la fresa a un rango de humedad del 13 al 15%, la cantidad de energía necesaria se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_2O_{out} = 1,36 \text{ kg de agua}$$

$$Q = m_{H_2O} C_{p,H_2O} \Delta T + m_{H_2O} \Delta H_{vap,H_2O} + m_{fruta} C_{p,fruta} \Delta T$$

Donde:

Q: Energía total que le entrega al aire en kJ

$m_{H_2O}$ : Masa de agua a evaporar

$C_{p,H_2O}$ : Capacidad calórica del agua

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas de entrada y salida

$\Delta H_{vap,H_2O}$ : Entalpia de vaporización del agua

$m_{fruta}$ : Masa de fresa

$C_{p,fruta}$ : Capacidad calórica de la fresa

Para la estimación de la capacidad calórica de la fresa, se puede utilizar ecuaciones predictivas obtenidas mediante el ajuste de datos experimentales usando modelos matemáticos. Para este caso se usará una expresión propuesta por Heldmann y Singh (1981) basada en los componentes de un compuesto alimentario.<sup>17</sup>

$$C_{p,fruta} = 1,424X_C + 1,549X_P + 1,675X_F + 0,837X_A + 4,187X_W \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$$

Donde:

$X_C$ : Fracción másica de carbohidratos en la fresa

$X_P$ : Fracción másica de proteínas en la fresa

$X_F$ : Fracción másica de grasas en la fresa

---

17 HELDMANN Dennis, SINGH Paul. Introducción a la ingeniería de alimentos. Acribia S.A.. Estados Unidos. Segunda edición. 1997. Página 185. I.S.B.N. 978-84-200-1124-0. [En línea] Disponible en (<http://es.slideshare.net/DanielDuarte22/introduccion-a-la-ingenieria-de-los-alimentos-paul-singh-dennis-heldman>)

$X_A$ : Fracción másica de cenizas en la fresa

$X_W$ : Fracción másica de agua en la fresa

Estos valores de fracciones másicas de composición de la fresa, se tomaron de la hoja de balance de alimentos colombiana del año 2010, donde se encuentran la cantidad de cada componente por porciones de 100g de alimento. En la tabla 4 se resume la cantidad másica de cada compuesto en la fresa.

Tabla 4. Resumen másico de compuestos en la fresa

Por 100g	Proteínas (g)	Grasas (g)	Carbohidratos (g)	Cenizas (g)	Agua (g)
Fresa	0,8	0,5	8,3	0,4	92

Fuente. ICBF. Hoja de balance de alimentos colombiana. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Colombia. 2010. Página 65. I.S.B.N. 978-92-5-308683-2. [En línea] Disponible en (<http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/Bienestar/Nutricion/Hoja%20de%20Balance%20de%20Alimentos%20Colombiana%20-HBA%202010%20vf%20FAO-ICBF.pdf>)

Reemplazando los valores de la tabla 4 se obtiene:

$$C_{P \text{ fruta}} = 1,424(0,083) + 1,549(0,008) + 1,675(0,005) + 0,837(0,004) + 4,187(0,92) \\ = 3,994 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Ahora reemplazando todos los valores de capacidad calorífica del agua, la entalpia de vaporización y la capacidad calorífica de la fresa, obtenemos la energía que se requerirá en el proceso:

$$Q = 1,36 \text{ kg} \cdot 4,18435 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (50 - 18)^\circ\text{C} + 1,36 \text{ kg} \cdot 2383,33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ + 0,14 \text{ kg} \cdot 3,994 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (50 - 18)^\circ\text{C} \\ Q = 3441,33 \text{ kJ}$$

Para encontrar la potencia por hora, se divide la energía requerida en 1 hora (en segundos).

$$P = \frac{3441,32 \text{ kJ}}{3600 \text{ seg}} = 0,956 \text{ kWh}$$

Hay que tener en cuenta, que al inicio del proceso todas las partes metálicas del equipo estarán frías, y habrá un consumo de energía mayor hasta que todas sus partes se equilibren a la temperatura de operación. Para estabilizar las condiciones de secado, el equipo operará 15 minutos sin carga.

En la tabla 5 se encuentra el resumen del balance de masa y energía a las 3 diferentes temperaturas a las que se va a deshidratar la fresa.

Tabla 5. Resumen de balance de masa y energía sin recirculación para la fresa

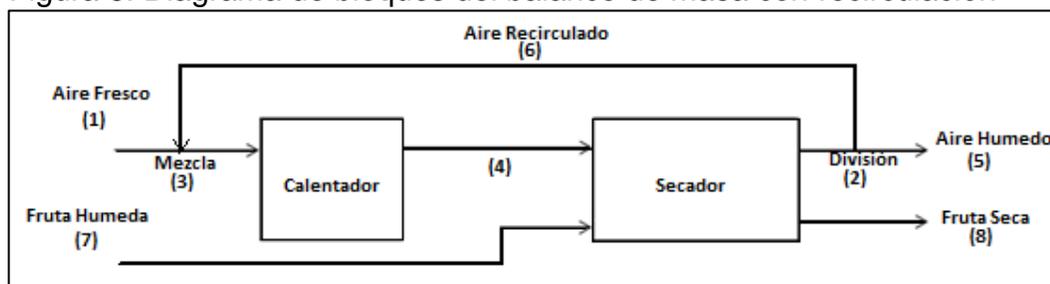
Temperatura (°C)	M <sub>1</sub> (kg aire seco)	V <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> )	Q (kJ)	P(kWh)
50	13,7	20	3441,32	0,955
55	9,94	15,5	3472,57	0,964
60	7,23	12,2	3503,83	0,973

### 2.3 BALANCE DE MASA CON RECIRCULACIÓN

En muchos casos se desea controlar la temperatura del bulbo húmedo a la cual ocurre el secado del sólido. Además, como los costos energéticos suelen ser importantes al calentar el aire con el que se va secar, se recircula el aire de secado para reducir los costos y controlar la humedad. Parte del aire caliente húmedo de salida se combina con aire fresco y se recircula el secador. Esto se muestra en la figura 8. El aire fresco con temperatura ambiente y humedad  $Ha_1$  se mezcla con aire recirculado a  $T_6$  y  $Ha_2$  para producir aire a  $T_3$  y  $Ha_3$ . Esta mezcla se calienta hasta  $T_4$  o de operación con  $Ha_4 = Ha_3$ . Después del secado, el aire sale a una temperatura menor  $T_2$  y una humedad mayor  $Ha_2$ .

Para resolver el balance con recirculación, se toman los valores del balance sin recirculación como punto de partida.

Figura 8. Diagrama de bloques del balance de masa con recirculación



Variables conocidas del balance para la fresa

Corriente (1):

$$Ha_1=0,009636 \text{ kg H}_2\text{O/kg AS}$$

$$T_{amb}=18^\circ\text{C}$$

Corriente (2):  
Ha<sub>2</sub>=0,009636 kg H<sub>2</sub>O/kg AS  
T= 48,05°C  
HR<sub>2</sub>=90%

Corriente (3):  
T= 48,05°C

Corriente (4):  
T= 50 °C

Corriente (5):  
T= 48,05 °C  
HR<sub>5</sub>=90%  
Ha<sub>6</sub>=0,1094kg H<sub>2</sub>O/kg AS

Corriente (6):  
T= 48,05 °C  
HR<sub>6</sub>=90%  
Ha<sub>6</sub>=0,1094 kg H<sub>2</sub>O/kg AS

Para el balance en el calentador y en el secador, al igual que en el balance sin recirculación, el agua a eliminar es la misma y se obtendría la misma cantidad de fruta deshidratada. Se pueden efectuar los siguientes balances de agua sobre en el punto de mezcla, si se observa que Ha<sub>2</sub> = Ha<sub>5</sub> = Ha<sub>6</sub>:

$$m_1 Ha_1 + m_6 Ha_6 = m_3 Ha_3$$

$$m_3 = m_1 + m_6$$

Donde:

m<sub>1</sub>: Masa de aire en la corriente 1

Ha<sub>1</sub>: Humedad absoluta del aire en la corriente 1

m<sub>6</sub>: Masa de aire en la corriente 6

Ha<sub>6</sub>: Humedad absoluta del aire en la corriente 6

m<sub>3</sub>: Masa de aire en la corriente 3

Ha<sub>3</sub>: Humedad absoluta del aire en la corriente 3

Desde un principio se establece la cantidad de aire húmedo que se desea recircular al sistema, que para empezar, se establece como el 10% del aire de salida del secador o  $m_6=0,1m_1$ . Con esta recirculación ya se puede resolver el balance de agua planteado anteriormente y encontrar la humedad absoluta del aire en ese punto:

$$13,7 \text{ kg As.} \left( 0,009639 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg AS}} \right) + 2,05 \text{ kg As.} \left( 0,009639 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg AS}} \right) = 15,71 \text{ kg As. (H}_{a3}\text{)}$$

Despejando  $H_{a3}$ , se obtiene:

$$H_{a3} = 0,02264 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg AS}}$$

Luego de tener la humedad absoluta en el punto de mezcla entre el aire húmedo y el aire fresco, es necesario comprobar que esta mezcla no sea una mezcla saturada. Para esto se calcula la temperatura que alcanza la mezcla igualando los calores transferidos por la corriente 6 y la corriente 1 como sigue:

$$m_1 C_{S1} (T_{eq} - T_0)^\circ\text{C} = m_6 C_{S6} (T_0 - T_{eq})^\circ\text{C}$$

Donde:

$C_{S1}$ : Calor húmedo de la corriente 1

$T_{eq}$ : Temperatura de equilibrio entre corrientes 1y 6

$C_{S6}$ : Calor húmedo de la corriente 6

El calor húmedo es el calor que se requiere para aumentar la temperatura de un gas con su vapor acompañante  $1^\circ\text{C}$  a presión constante. Para una mezcla de humedad absoluta, se utiliza la siguiente ecuación<sup>18</sup>:

$$C_S = 1,005 + 1,884H_A \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$$

Donde:

$C_S$ : Calor húmedo

$H_A$ : Humedad absoluta

---

18 TREYBAL Robert. Operaciones de transferencia de masa. McGraw-Hill. Estados Unidos. Segunda edición. 1988. Páginas 258, 262

Siendo para la corriente 1 una  $H_{A1}=0,0096$  kg H<sub>2</sub>O/kg AS y para la corriente 6 una  $H_{A6}=0,1094$  kg H<sub>2</sub>O/kg AS, los calores húmedos respectivos serán:

$$C_{S1} = 1,005 + 1,884 \cdot \left(0,009636 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg AS}}\right) = 1,02315 \frac{\text{kJ}}{\text{kg AS } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{S6} = 1,005 + 1,884 \cdot \left(0,10937 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg AS}}\right) = 1,21105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg AS } ^\circ\text{C}}$$

De la ecuación que iguala los calores trasferidos o tomados de las corrientes 1 y 6, se puede despejar el valor de la temperatura de equilibrio.

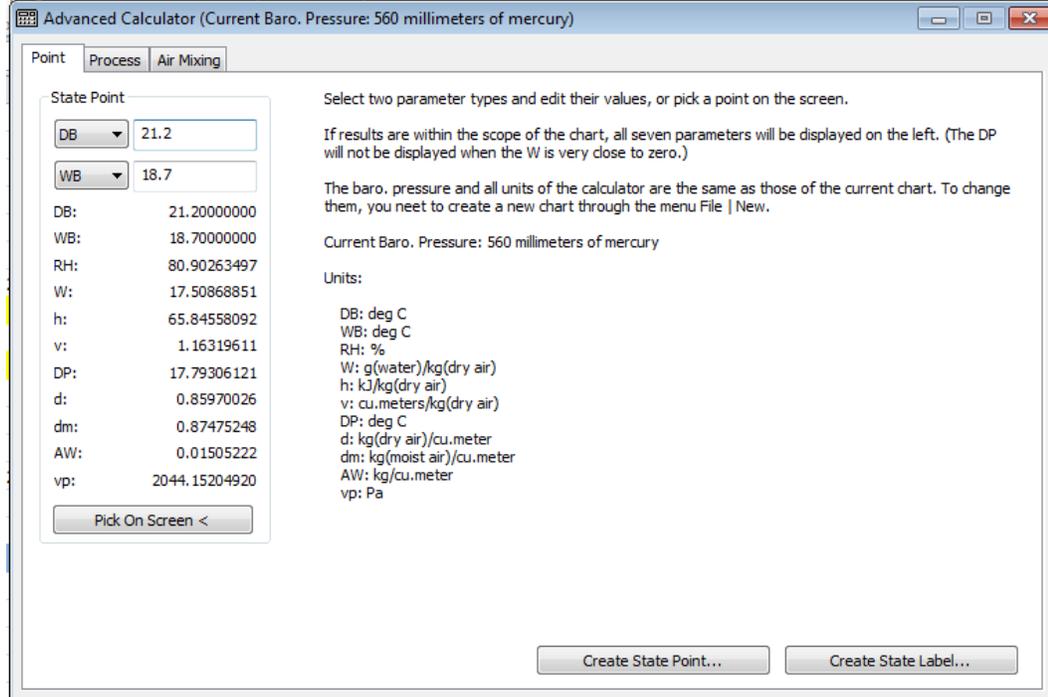
$$\begin{aligned} 13,7 \text{ kg AS} \cdot \left(1,02315 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) (T_{\text{eq}} - 18) ^\circ\text{C} \\ = 2,05 \text{ kg AS} \cdot \left(1,21105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}\right) (48,05 - T_{\text{eq}}) ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$T_{\text{eq}} = 21,2^\circ\text{C}$$

Con el valor de la temperatura de equilibrio y la humedad absoluta  $H_{a3}$ , se comprueba por medio de la calculadora del programa CYTSoftPsychrometric Chart 2.2 Demo, si este aire en el punto de mezcla está saturado o no.

La figura 9 muestra las propiedades del aire a estas condiciones de temperatura y de humedad absoluta. Y como se observa en la figura, la humedad relativa alcanza aproximadamente el 81%, lo cual indica que con un porcentaje de recirculación del 10% no se alcanza a saturar y no se rocía dentro del sistema. Esta es una de las cosas que no pueden pasar dentro del equipo porque corre el riesgo de dañar partes mecánicas dentro del motor del ventilador al igual que ensuciar el equipo por dentro y generar insalubridad.

Figura 9. Valores para el punto de mezcla



Fuente. CYTsoftPsychrometric Chart 2.2 Demo; Modificada por los autores

## 2.4 BALANCE DE ENERGÍA CON RECIRCULACIÓN

Al igual que el balance de energía que se realizó anteriormente, se realiza para este caso, pero con la diferencia que el aire de entrada al calentador ya no está a temperatura ambiente, sino que ya se encuentra a la temperatura de equilibrio del punto de mezcla (figura 8) que es mayor a la ambiental, debido a la recirculación.

Con esta comparación de temperaturas se puede deducir que el consumo energético será menor, y esta es una de las ventajas de poder recircular el aire húmedo de salida.

Sabiendo que la cantidad de agua a eliminar es la misma que en el anterior cálculo de energía, podemos hallar la cantidad de energía que se requerirá en el proceso, pero desde la temperatura  $T_{eq}$  de mezcla, hasta la temperatura de operación.

$$H_2O_{out} = 1,36 \text{ kg de agua}$$

Al igual que en el proceso de la sección 2.2, se plantea la ecuación de energía.

$$Q = 1,36 \text{ kg} \cdot 4,18435 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (50 - 21,2)^\circ\text{C} + 1,36 \text{ kg} \cdot 2383,33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ + 0,14 \text{ kg} \cdot 3,994 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (50 - 21,2)^\circ\text{C} \\ Q = 3421,33 \text{ kJ}$$

Para hallar la potencia requerida en el proceso en unidades de kWh, se realiza la conversión de Julios a kWh .

$$P = 3'421.330 \text{ J} * \frac{1\text{kWh}}{3'600.000 \text{ J}} = 0,950 \text{ kWh}$$

A continuación en la tabla 6 se resumen los valores de las corrientes, las temperaturas de mezcla y el consumo energético para la tres temperaturas de operación. También se muestran los valores de los porcentajes de recirculación que aseguran una humedad relativa en el punto de mezcla, no mayor al 90%.

Tabla 6. Resumen tabla de balance de masa y energía con recirculación

Temp . (°C)	% de Recircu.	m <sub>1</sub> (kg aire seco)	m <sub>3</sub> (kg aire seco)	m <sub>6</sub> (kg aire seco)	V <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	Q (kJ)	P (kWh)
50	10%	13,7	15,02	1,37	21,9	3421,3	0,950
55	6%	9,94	10,53	0,6	15,4	3457,5	0,960
60	5%	7,23	7,59	0,36	11,1	3488,2	0,969

## 2.5 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL DESHIDRATADOR PILOTO

Para el armario del deshidratador piloto, las paredes que entran en contacto en el trayecto del flujo de aire serán curvas, garantizando el viaje del aire a través del equipo con la velocidad y fuerza necesaria para llegar de nuevo al ventilador y así impulsarse de nuevo.

Un parámetro importante para todo equipo es la pérdida de energía por las paredes y para evitar esto, es necesario dar un espacio entre las paredes internas y las externas del equipo, para colocar entre ellas un aislante térmico para reducir así pérdidas de calor. El aislante térmico que se utilizó fue frescasa, debido a que ayuda a regular y mantener estables los rangos de temperatura interna, es liviana, no crea bacterias, no genera olores, es incombustible, de fácil instalación y económico<sup>19</sup>. La

19 ACUSTITIENDA. Frescasa. Aplicaciones. Características. [En línea] Disponible en ([http://www.acustitienda.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=22&category\\_id=5&option=com\\_virtuemart&Itemid=2](http://www.acustitienda.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=22&category_id=5&option=com_virtuemart&Itemid=2))

fresca posee un coeficiente de transferencia de calor bajo ( $0,038 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ), estando por debajo de aislantes como la fibra de vidrio ( $0,043 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ).<sup>20</sup>

Para el tamaño de las bandejas, se cortaron 450 g de fresas uniformemente, se colocaron sobre una superficie plana y se midió el largo y ancho del posible tamaño de las bandejas, este valor fue de  $40 \times 34 \text{ cm}$ , se garantizó un buen espaciado entre muestra y muestra con el fin de garantizar un flujo de aire homogéneo entre las fresas. El material de fabricación de las bandejas fue una malla 430 de acero inoxidable, por salubridad y para garantizar que pequeñas muestras de fresa no se caigan al momento de trabajar, cosa que si puede ocurrir para mallas más grandes.

Con las dimensiones de las bandejas, y tomando en cuenta que son tres, la cantidad de fruta fresca procesada por el deshidratador piloto será de  $1,5 \text{ kg}$  aproximadamente, el área de cada bandeja será de  $1360 \text{ cm}^2$ , y el área total de las bandejas será  $4080 \text{ cm}^2$ .

El espacio entre bandejas seleccionado fue de  $10 \text{ cm}$ , adaptable hasta  $5 \text{ cm}$ , para estudiar el cambio de humedad al final de proceso, para determinar cuál espaciado es más adecuado.

Las resistencias utilizadas fueron resistencias aleteadas fabricadas con tubo de acero inoxidable en forma de U, debido a que están diseñadas para rápida transferencia de calor por convección natural y forzada, gracias a las aletas son especiales para el calentamiento de aire forzado y para equipos de secado industrial.<sup>21</sup>

Se instalaron 2 difusores para direccionar el aire hacia las bandejas, evitando que el aire se dirija hacia la parte superior del equipo (por ser aire caliente, tiende a subir). En la entrada de cada difusor, se montó una resistencia aleteada, para que la temperatura del aire sea lo más parecida en cada bandeja.

Para controlar la temperatura, existen diferentes termocuplas entre las que se encuentran las tipo K y RTD (Pt100), la diferencia radica en el nivel de precisión de cada una, entre más precisa el costo aumenta considerablemente, las termocuplas tipo K poseen una precisión de  $\pm 1$ , mientras que las RTD (Pt100) de  $\pm 0,1$ . Para el efecto del piloto lo más recomendable sería una RTD (Pt100), pero por costos se utilizaron cuatro termocuplas tipo K.<sup>22</sup>

---

20 HOLLMAN J.P.. Transferencia de calor. McGrawHill. Estados Unidos. Octava edición. 1998. I.S.B.N. 84-481-2040-X

21 PROVINDUS. Resistencias industriales. Resistencias aleteadas. [En línea] Disponible en ([http://www.provindus.com.py/Productos\\_Eltra.html](http://www.provindus.com.py/Productos_Eltra.html))

22 CREUS ANTONIO. Instrumentación industrial. AlfaOmega. Barcelona. Octava edición. 2011. Página 229

Dos termocuplas se disponen para controlar la temperatura de bulbo seco antes y después del paso de aire por las bandejas, las otras dos termocuplas para controlar la temperatura de bulbo húmedo, a las cuales se les añadió un termopozo y se recubrieron con un trapo húmedo.

Se añadieron dos aberturas en la parte superior del deshidratador, en la abertura de la izquierda se instala un motor de 1/8 de Hp, encargado de retirar el aire dentro de la máquina, siempre y cuando la temperatura de bulbo húmedo leída por el controlador sea igual a la temperatura máxima establecida de operación (según carta psicométrica de Bogotá) y en la otra abertura ingresa el aire fresco.

Los controladores de temperatura son en donde se establece la temperatura de operación. Para el control de temperatura de bulbo seco y húmedo anteriores al paso de aire por la bandeja, se utilizaron controladores Autonics serie TCN4S, los cuales poseen doble display, ideal para establecer una temperatura de operación, leerla y compararla. Cuando se sube o se baja la temperatura de bulbo seco anterior leída de la establecida, se apagarán o prenderán las resistencias, y cuando se suba la temperatura de bulbo húmedo leída a la establecida, se encenderá el extractor, renovando el aire dentro del equipo. Estos controladores son ideales por su velocidad de lectura, reducido espacio y la visibilidad gracias a su segundo display<sup>23</sup>.

Los controladores para la temperatura de bulbo húmedo y seco posteriores, son Autonics serie TC4S, las cuales poseen un solo display, ideal para solo lectura y control.<sup>24</sup>

Para controlar la velocidad de aire se instaló un variador de frecuencia, conectado al motor para variar los Hz del mismo y así poder subir o bajar las revoluciones (la velocidad de aire).

De acuerdo a los valores encontrados en el balance de masa y las especificaciones mencionadas, se utiliza un factor de servicio del 50% a cada cálculo para brindarle al equipo una mayor flexibilidad tanto a la velocidad del aire como a las temperaturas de operación, y a partir de los nuevos resultados se manda a construir la maquina en Wagner Ingenieros. Se utilizó un factor de servicio tan alto, debido a que es una maquina experimental, se requiere una flexibilidad al momento de construirla, además, para EcoVitale Orgánico, seguiría siendo un equipo de experimentación para diferentes frutas. En la tabla 7 se especifican los resultados con el factor de servicio.

---

23 AUTONICS SENSORS & CONTROLLERS. Controles de temperatura. Controlador de temperatura PID de doble display y bajo costo. Serie TCN. [En línea] Disponible en ([http://autonics.com.mx/products/products\\_detail.php?catecode=02/01/01&db\\_uid=1497](http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=1497))

24 AUTONICS SENSORS & CONTROLLERS. Controles de temperatura. Funciones esenciales y rendimiento mejorado. Serie TC. [En línea] Disponible en ([http://autonics.com.mx/products/product\\_s\\_detail.php?catecode=02/01/01&db\\_uid=1476](http://autonics.com.mx/products/product_s_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=1476))

Tabla 7. Resultados a cada temperatura con factor de servicio

Temperatura (°C)	m1 (kg aire seco)	V <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	Q (kJ)	P (kWh)
50	20,6	32,9	5131,9	1,43
55	14,9	23,1	5186,3	1,44
60	10,8	16,7	5232,3	1,45

Se utilizó un motor con certificación IP55, debido a que este queda expuesto a las condiciones de aire interno y con esta certificación, se garantiza que no entrará humedad en el mismo, prolongando su vida útil. La cantidad de aire a mover durante el proceso se encuentra en la tabla 7, debido a que la selección del motor es un cálculo netamente de ingeniería mecánica, se pidió la colaboración a Wagner ingenieros, que son los encargados de la construcción del equipo, para la selección del mismo. El motor recomendado fue un motor cubierto Siemens de 4 polos de 1800 RPM de 0,4HP y 0,3 KW con certificación IP55, las aspas del ventilador fueron diseñadas por ellos garantizando que el motor pueda generar el torque requerido para mover la cantidad de aire especificado en la tabla 7. Para el extractor recomendaron un motor con una potencia de 1/8 Hp. Es necesario agregar un enfocador circular alrededor del ventilador, para ayudar al aire a ganar velocidad, aumentando la presión después de las aspas (efecto Venturi).

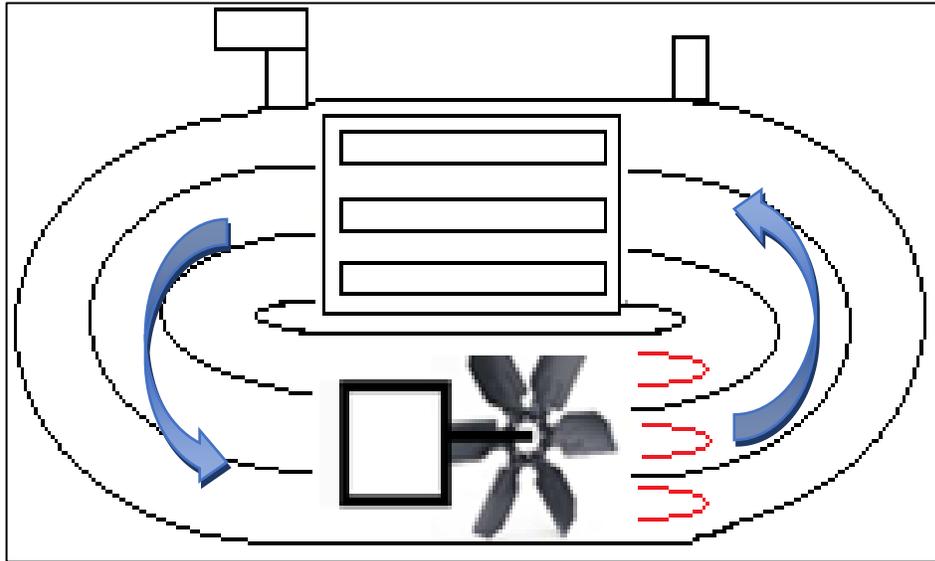
El área de flujo en donde se medirá la velocidad del aire es de 0,1156 m<sup>2</sup>, el caudal de aire para 4 m/s será igual a 0,4624 m<sup>3</sup>/s y para 8m/s será 0,925 m<sup>3</sup>/s. Esta área de flujo corresponde al área donde se disponen las bandejas dentro del equipo y por donde circulará el aire.

Por costos se fabrica el deshidratador en cold rolled y para evitar la oxidación del material, se recubrirá con una pintura electrostática, ayudando a que no se produzca corrosión en el material debido a la humedad que maneja dentro del equipo.

La caja de control del deshidratador piloto se encuentra en el anexo B.

En la figura 10 se observa un esquema sencillo del piloto, donde las flechas azules muestran el sentido del aire propulsado por el ventilador. Las líneas rojas en u son las resistencias.

Figura 10. Esquema sencillo del deshidratador piloto.



Para ver en detalle el deshidratador piloto, las fotos se encuentran en el anexo C y los planos del mismo se encuentran en el anexo J.

### 3. EXPERIMENTACIÓN EN EL DESHIDRATADOR PILOTO

La experimentación se realiza para determinar las mejores condiciones de operación que aseguren un tiempo mínimo de proceso, además para encontrar un producto de calidad; se utilizó para determinar el buen comportamiento del equipo piloto y verificar el diseño.

#### 3.1 PROCESO PARA DESHIDRATAR

Se procede a lavar la fruta para retirar toda la suciedad presente y se retira el resto del cáliz (fotografía 2). Luego de esto se corta la fresa en rodajas de espesor uniforme (de 5 a 8 mm), de forma vertical (fotografía 3).

Se trabajó inicialmente en un espesor inferior a 5 mm como prueba inicial, se observó que al final de determinado tiempo, las fresas tendían a adherirse en las bandejas y al momento de retirarlas, se quebraban. Trabajando con un espesor de 5 a 8 mm, no ocurrió esto, por ello se estableció ese rango de espesor de corte para realizar las pruebas.

Fotografía 2. Fresas lavadas



Fotografía 3. Fresas cortadas



Para garantizar fiabilidad en el pesaje de las muestras, se utilizó una balanza marca LEXUS, con una sensibilidad de 0,1 gramos; con un patrón de 500 g se calibró antes de cada prueba la balanza, todo ello para garantizar una fiabilidad del pesaje durante toda la experimentación. En el anexo D se encuentran las fotos del patrón, la calibración y la ficha técnica de la balanza.

3.1.1 Metodología de evaluación. La metodología a utilizar se describe a continuación:

- a. Encender el deshidratador piloto a las condiciones de trabajo.
- b. Esperar 15 min aproximadamente para garantizar las condiciones de proceso dentro del equipo.
- c. Limpiar las bandejas para retirar cualquier rastro de suciedad.
- d. Pesar el patrón de 500 gramos en la balanza LEXUS, para verificar su calibración.
- e. Pesar bandejas sin fruta en la balanza LEXUS.
- f. Una vez la fresa está cortada, se ponen sobre las bandejas (Fotografía 4).
- g. Pesar el patrón de 500 gramos en la balanza LEXUS, para verificar su calibración.
- h. Pesar bandejas con fruta en la balanza LEXUS.
- i. Introducir las bandejas en el equipo.
- j. Cada hora se retiran las bandejas y se pesan (verificando anteriormente con el patrón, la calibración de la balanza LEXUS).
- k. Realizar los cálculos de humedad en base humedad cada hora hasta la humedad deseada (13 a 15%) (fotografía 5).

Fotografía 4. Fresas en la bandeja



Fotografía 5. Fresas deshidratadas



### 3.2 SECADO DE FRESAS

Teniendo la fruta lavada y cortada (se realiza un corte del mismo espesor entre todas las fresas, para garantizar un secado homogéneo y para que este no sea una variable más del proceso), cabe resaltar que para toda la experimentación se realizó con el mismo espesor de corte, para que este no fuese una variable más de evaluación. Se ajustan las variables de control en el deshidratador, las cuales son, la temperatura de bulbo húmedo máxima, la temperatura de bulbo seco y la velocidad del aire. Esta última variable se controla por medio de un anemómetro, en la fotografía 6 se muestra el anemómetro utilizado para la verificación de la velocidad del aire durante todo el proceso.

Toda la experimentación se realizó con un espaciamiento entre bandejas de 5 cm, debido a que se probaron a 10 cm y a 5 cm en una prueba inicial a 60°C con 8m/s y 90% humedad relativa máxima, a 5 cm, se obtuvo una humedad más uniforme, en la tabla 8 se encuentra los resultados finales de humedad con un espaciamiento de bandeja de 10 y 5 cm.

Tabla 8. Prueba de espaciamiento entre bandejas

Distancia	5 cm			10 cm		
Tiempo (h)	Humedad en Base Húmeda (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Húmeda (Kg agua/Kg sh)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%
1	84,29%	85,43%	86,51%	83,33%	83,43%	86,51%
2	66,53%	68,48%	73,76%	64,73%	65,32%	74,76%
3	38,48%	42,30%	47,53%	36,66%	38,30%	46,53%
4	21,38%	24,61%	29,10%	20,48%	21,61%	29,10%
5	14,32%	14,59%	17,20%	12,37%	13,59%	21,20%
6	9,92%	9,62%	10,60%	8,67%	8,77%	16,60%
7	8,75%	8,24%	8,89%	7,31%	7,24%	14,89%

Fotografía 6. Anemómetro



Una vez se establecen las condiciones en la máquina (apropiadamente 15 min), se da inicio a las pruebas de secado con las combinaciones que se muestran a continuación en la tabla 9, en donde se especifican tres temperaturas (50, 55 y 60°C) con dos velocidades de aire (4 y 8 m/s) y dos humedades relativas máximas en el equipo (80 y 90%).

Tabla 9. Combinaciones de las pruebas de secado

Humedad Relativa (%)	Velocidad de aire (m/s)	Temperatura bulbo seco (°C)	Temperatura bulbo húmedo (°C)
90	4	50	48,1
		55	52,9
		60	57,8
	8	50	48,1
		55	52,9
		60	57,8
80	4	50	48,1
		55	52,9
		60	57,8
	8	50	48,1
		55	52,9
		60	57,8

3.2.1 Prueba de humedad inicial de la fresa. Se ponen 451,6 g de fresa en la bandeja 3 a 96°C por 24 horas para retirar toda la humedad existente, pasadas las 24 horas se pesa y nos da como resultado 43,5 g de fresa, con esta información se procedió hallar la humedad inicial, en la fotografía 7 se observa la fresa antes y después de la prueba.

$$\% \text{ H}_2\text{O Fresa} = \frac{(M_0 - M_f)}{M_0} * 100$$

Donde:

$M_0$ : Masa inicial de fresa

$M_f$ : Masa final de fresa

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\% \text{ H}_2\text{O Fresa} = \frac{(451,6 \text{ g} - 43,5 \text{ g})}{451,6 \text{ g}} * 100 = 90,37 \%$$

Fotografía 7. Fresa fresca y fresa con % de humedad después de 24 horas



3.2.2 Deshidratación de fruta. Los resultados de la primera prueba se muestran a continuación, en la tabla 10 se muestran los resultados de los pesajes de las bandejas con y sin fresa para determinar la cantidad de fresa a secar en cada una (tiempo 0), y los diferentes pesajes por hora de proceso. 90% de Humedad Relativa, 8m/s 60°C

Tabla 10. Masas de bandejas con y sin frutas

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1122,0	1121,8	1124,6	458,50	457,10	453,90
1	912,0	929,5	952,0	248,50	264,80	281,30
2	787,6	795,6	825,0	124,10	130,90	154,30
3	732,8	738,2	750,7	69,30	73,50	80,00
4	718,1	721,4	731,3	54,60	56,70	60,60
5	713,7	714,9	722,7	50,20	50,20	52,00
6	711,3	712,2	718,9	47,80	47,50	48,20
7	710,7	711,5	717,5	47,20	46,80	46,80

En la tabla 11 se muestra el contenido de fibra y de agua de la fresa en cada una de las bandejas para los diferentes tiempos de proceso. Cabe resaltar que los contenidos de fibra (vitaminas, carbohidratos, proteínas, etc.) se asume que son constantes en el transcurso del tiempo de proceso, debido a que no se puede controlar esta variable durante la operación y además el rango de temperatura

escogido teóricamente degrada muy poco la fibra haciendo esta variable despreciable.<sup>25</sup>

Tabla 11. Contenido de fibra y agua prueba 1

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	44,02	43,88	43,57	414,48	413,22	410,33
1	44,02	43,88	43,57	204,48	220,92	237,73
2	44,02	43,88	43,57	80,08	87,02	110,73
3	44,02	43,88	43,57	25,28	29,62	36,43
4	44,02	43,88	43,57	10,58	12,82	17,03
5	44,02	43,88	43,57	6,18	6,32	8,43
6	44,02	43,88	43,57	3,78	3,62	4,63
7	44,02	43,88	43,57	3,18	2,92	3,23

En la tabla 12 se muestra la pérdida de agua por hora de la fruta para cada una de las bandejas, para ello se realiza el cálculo de humedad de la siguiente manera:

$$H_{bh} = \frac{m_{h_2O}}{m_{h_2O} + m_{fibra}} \cdot 100\%$$

Donde:

$H_{bh}$ : Humedad en base húmeda

$m_{h_2O}$ : Masa de agua presente en la fresa

$m_{fibra}$ : Masa de fibra presente en la fresa

Para el primer valor de la primera bandeja, se calcula:

$$H_{bh} = \frac{414,48 \text{ g}}{414,48 \text{ g} + 44,02 \text{ g}} \cdot 100\%$$

$$H_{bh} = 90,399\%$$

25 GAMBOA Juliana, MEGIAS Roberto, SORIA Cristina, OLANO Agustin, MONTILLA Antonia, VILLAMIEL Mar. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry. Madrid. Edición 153. 2014. Página 167. [En línea] Disponible en ([www. ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

La humedad en base seca se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$H_{bs} = \frac{m_{h_2O}}{m_{fibra}} \cdot 100\%$$

Donde:

$H_{bs}$ : Humedad en base seca

Para el primer valor de la primera bandeja, se obtiene:

$$H_{bs} = \frac{414,48 \text{ g}}{44,02 \text{ g}} \cdot 100\%$$

$$H_{bs} = 9,417$$

Tabla 12. Humedades en base húmeda y seca prueba 1

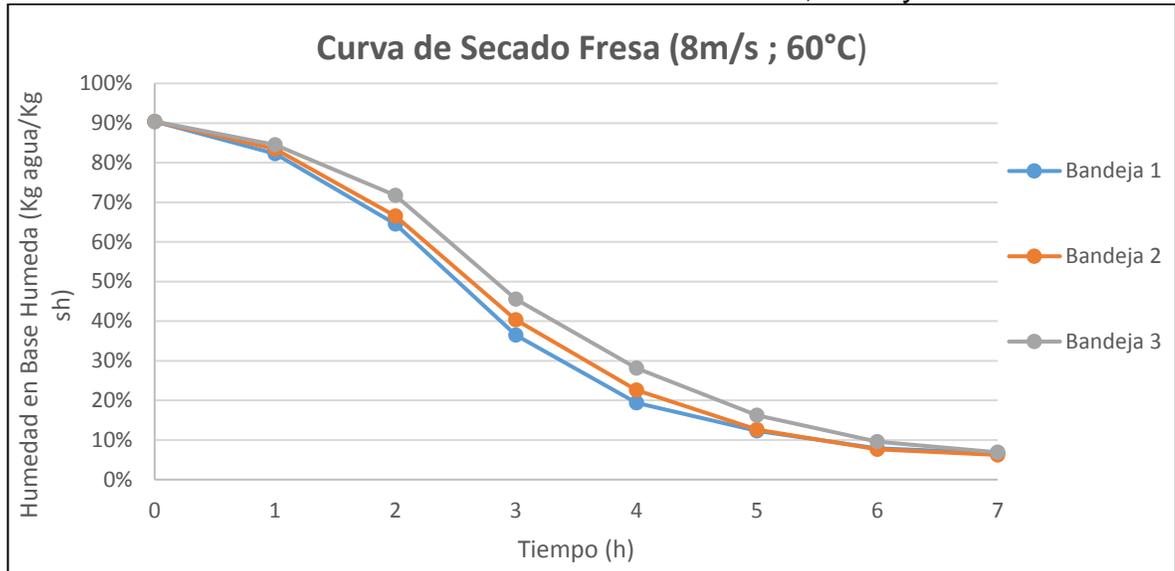
Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja
	1	2	3	1	2	3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	82,29%	83,43%	84,51%	4,646	5,034	5,456
2	64,53%	66,48%	71,76%	1,819	1,983	2,541
3	36,48%	40,30%	45,53%	0,574	0,675	0,836
4	19,38%	22,61%	28,10%	0,240	0,292	0,391
5	12,32%	12,59%	16,20%	0,140	0,144	0,193
6	7,92%	7,62%	9,60%	0,086	0,082	0,106
7	6,75%	6,24%	6,89%	0,072	0,067	0,074

En el anexo E se muestran los resultados de todas las pruebas realizadas de acuerdo a la combinación establecida en la sección 3.2.

### 3.3 CURVAS DE SECADO

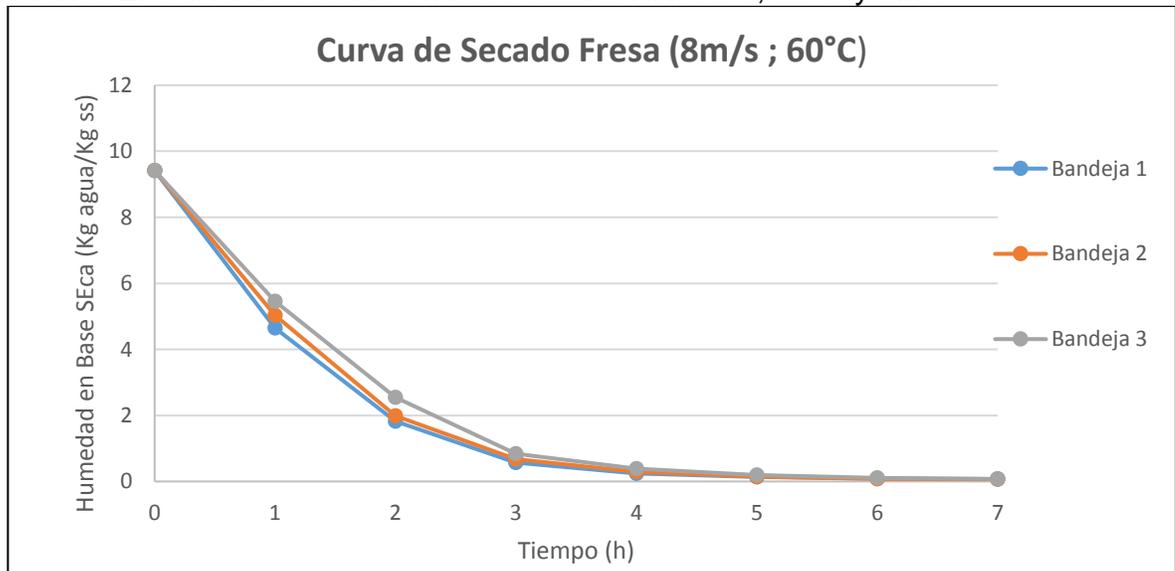
Con los resultados de la tabla 12, se procede a realizar las curvas de secado de la fresa en base húmeda (Gráfica 1), de 0 a 1 hora se encuentra el periodo de calentamiento, de 1 a 4 horas se observa el periodo de velocidad constante y de 4 a 7 horas se observa el periodo de velocidad decreciente; estos tres periodos se observan en una curva de secado típica de un sólido.

Gráfica 1. Curva de secado en base húmeda a HR: 90%, 60°C y 8m/s



En la Gráfica 2 se observa la curva de secado en base seca, de 0 a 1 hora se evidencia la mayor pérdida de humedad de la fresa, de 1 a 3 horas se presenta una pérdida de humedad no tan constante y de 3 a 7 horas no se presenta una variación muy grande en la cantidad de agua.

Gráfica 2. Curva de secado en base seca a HR: 90%, 60°C y 8m/s



### 3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de humedad de la fresa bajo las diferentes variables, es necesario analizarlos por medio de un diseño de experimentos, en este caso se realiza un diseño factorial de tres factores, la velocidad del aire, la humedad

relativa del aire dentro del equipo y la temperatura del aire; por medio del programa Statgraphics Centurion XVI, para determinar las mejores condiciones de operación que aseguren un tiempo mínimo de proceso, además para encontrar un producto de calidad.

3.4.1 ANOVA (Análisis de varianza). Evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores, además prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales.<sup>26</sup>

En la tabla 13 se muestra los resultados de todas las pruebas transcurridas a 7 horas, para cada temperatura, velocidad de aire y humedad relativa del aire dentro del equipo.

Tabla 13. Resultados obtenidos en las pruebas

HR	90%		80%	
Velocidad	8m/s	4m/s	8m/s	4m/s
50°C	16,20%	47,89%	17,54%	19,55%
	17,60%	44,41%	19,99%	17,65%
	21,62%	44,92%	19,57%	18,10%
55°C	8,97%	22,73%	10,64%	13,80%
	6,00%	20,51%	10,22%	12,27%
	8,17%	21,13%	11,62%	14,15%
60°C	6,75%	13,28%	13,54%	20,44%
	6,24%	13,86%	12,64%	16,95%
	6,89%	14,66%	14,35%	19,48%

Los valores de la tabla 13 se ingresan en el programa Statgraphics Centurion XVI para obtener la tabla ANOVA Multifactorial de la tabla 14.

Las hipótesis que se plantean son las siguientes:

- $H_0$ = La humedad relativa del aire dentro del equipo no tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.
- $H_1$ = La humedad relativa del aire dentro del equipo tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.
- $H_0$ = La velocidad del aire no tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

26 MINITAB. Qué es ANOVA?. Soporte de MINITAB 17. [En línea] Disponible en (<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova/>)

H<sub>1</sub>= La velocidad del aire tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

- H<sub>0</sub>= La temperatura no tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

H<sub>1</sub>= La temperatura tiene un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

- H<sub>0</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo y la velocidad del aire no tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

H<sub>1</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo y la velocidad del aire tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

- H<sub>0</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo y la temperatura no tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

H<sub>1</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo y la temperatura tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

- H<sub>0</sub>= La velocidad del aire y la temperatura no tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

H<sub>1</sub>= La velocidad del aire y la temperatura tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

- H<sub>0</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo, la velocidad del aire y la temperatura no tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

H<sub>1</sub>= La humedad relativa del aire dentro del equipo, la velocidad del aire y la temperatura tienen un efecto significativo sobre la humedad final de fruta.

Tabla 14. ANOVA multifactorial

<b>Análisis de Varianza para Humedades - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Humedad Relativa	97,7791	1	97,7791	49,05	0,0000
B:Velocidad de aire	776,83	1	776,83	389,72	0,0000
C:Temperatura	1174,48	2	587,241	294,61	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	417,998	1	417,998	209,70	0,0000
AC	563,364	2	281,682	141,32	0,0000
BC	78,3276	2	39,1638	19,65	0,0000
ABC	260,475	2	130,238	65,34	0,0000
RESIDUOS	47,8387	24	1,99328		
TOTAL (CORREGIDO)	3417,09	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

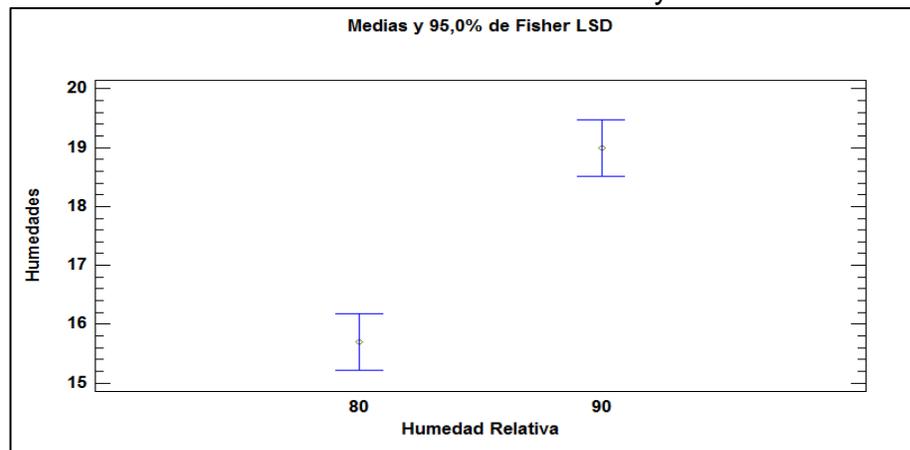
Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

El resultado obtenido del valor P muestra un valor que tiende a cero, lo que indica que estadísticamente todas las variables tienen un valor significativo sobre la humedad final de la fruta con un intervalo de confianza del 95%.

3.4.2 Gráficas de interacción multivariable. Una vez realizado el ANOVA, y habiendo encontrado que todas las variables son significativas, por medio del programa Statgraphics Centurion XVI se obtienen gráficas de interacción de las diferentes variables con respecto a la humedad, para determinar las mejores condiciones de operación para la propuesta de diseño del deshidratador EcoVitale Orgánico y la relación de las variables con la humedad final de la fresa.

La interacción entre la humedad relativa dentro del equipo y la humedad de la fresa se observa en la Gráfica 3, en donde se muestra que entre más baja sea la humedad relativa dentro del equipo, se obtendrá una humedad en la fresa más baja.

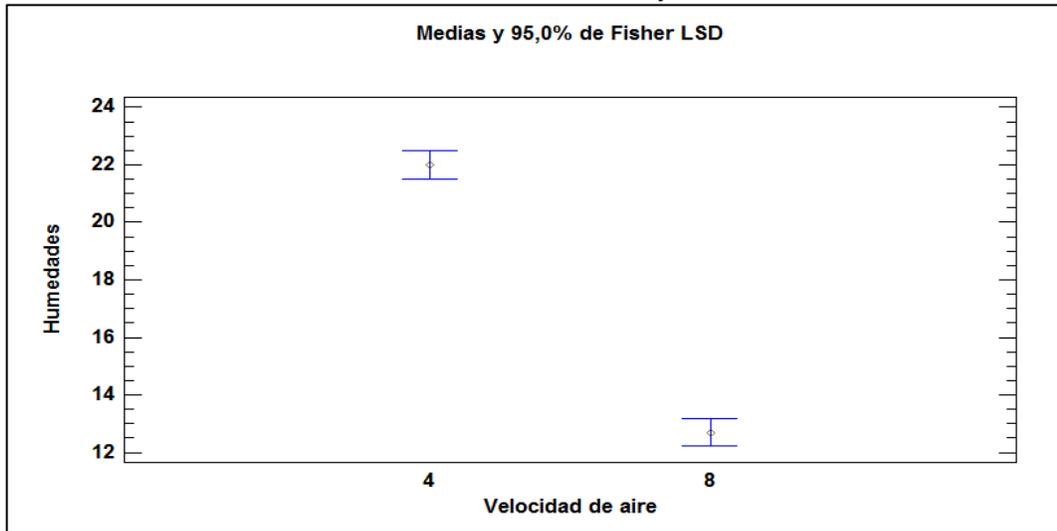
Gráfica 3. Interacción entre humedad relativa y humedad



Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

La interacción entre la velocidad de aire y la humedad de la fresa se observa en la Gráfica 4, en donde se evidencia que hay una diferencia significativa entre una velocidad de 4 m/s y una velocidad de 8m/s, siendo esta última la que ayude a tener una humedad en la fresa más baja.

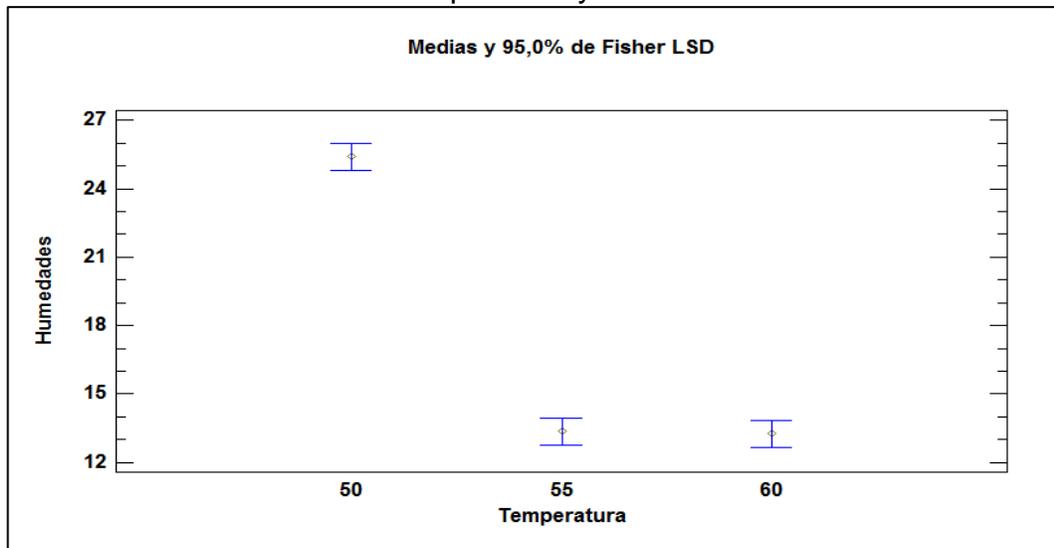
Gráfica 4. Interacción entre velocidad de aire y humedad



Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

La interacción entre la temperatura y la humedad de la fresa se observa en la gráfica 5, donde se ve una gran diferencia para retirar agua de la fresa entre 50°C y 55°C, pero entre 55°C y 60°C no se evidencia una diferencia significativa.

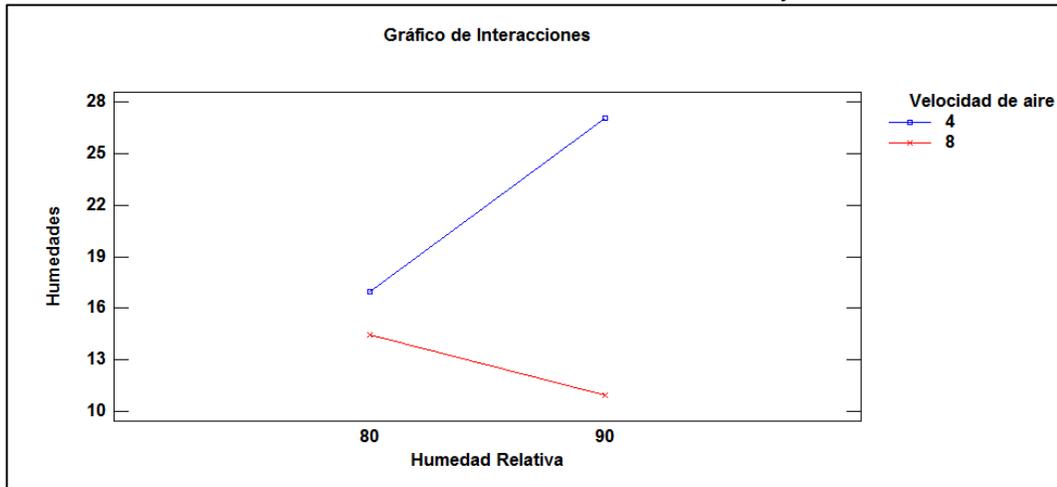
Gráfica 5. Interacción entre temperatura y humedad



Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

La interacción entre la velocidad del aire con la humedad relativa dentro del equipo y la humedad de la fresa, se ve en la gráfica 6, en donde se ve que a una humedad relativa mayor (90%HR) con una velocidad de alta (8m/s), se alcanza un contenido menor de agua en la fresa.

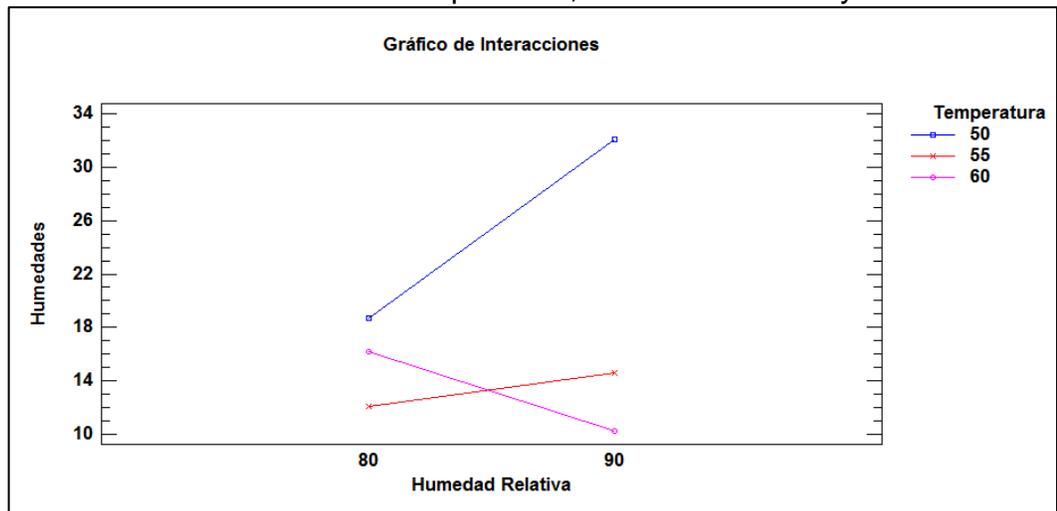
Gráfica 6. Interacción entre vel. aire, humedad relativa y humedad



Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

La interacción entre la temperatura con la humedad relativa dentro del equipo y la humedad de la fresa, se ve en la gráfica 7, en donde una combinación de 80% de HR y 55°C es ideal para llevar la fresa a una humedad entre 13 y 15%.

Gráfica 7. Interacción entre temperatura, humedad relativa y humedad

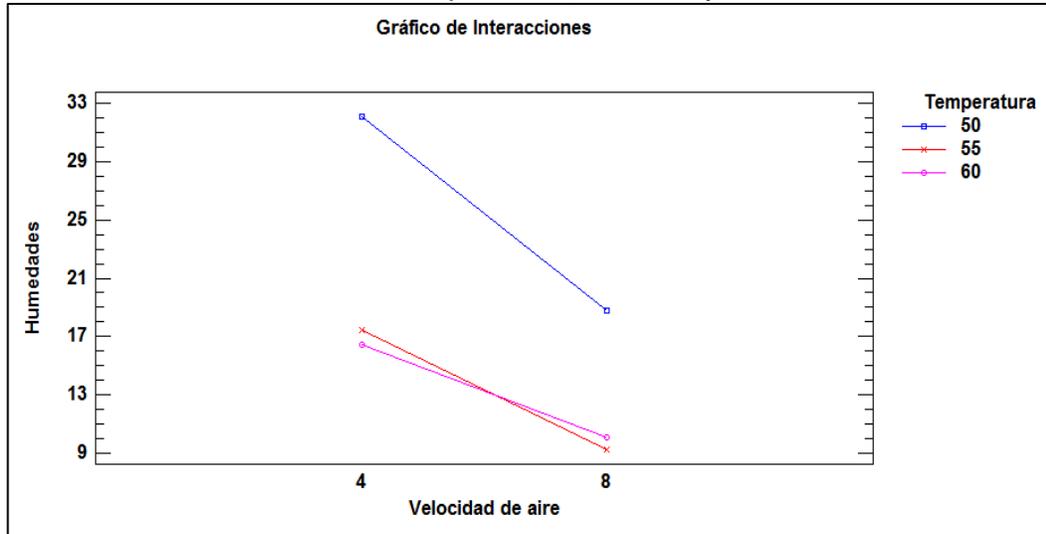


Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

La interacción entre la temperatura con la velocidad del aire y la humedad de la fresa, se ve en la gráfica 8, en donde se muestra claramente que trabajar a 50°C

para cualquier velocidad no es la mejor opción de trabajo, mientras que trabajar a 55°C y 60°C no muestra una diferencia significativa.

Gráfica 8. Interacción entre temperatura, vel. aire y humedad



Fuente. Statgraphics Centurion XVI; Modificada por los autores

3.4.3 Comparación visual de la fresa deshidratada. La calidad y como se ve el producto, son factores muy importantes, debido a que las personas muchas veces compran el producto de acuerdo a su apariencia. Se tiene en cuenta la forma de la fruta deshidratada, el color, la textura y el sabor.

En la tabla 15 se comparan visualmente las muestras de cada una de las pruebas realizadas según las variables, en ella se puede apreciar la perfecta calidad del producto final.

Tabla 15. Comparación visual de la fresa según las diferentes variables

HR	90%		80%	
Velocidad	8m/s	4m/s	8m/s	4m/s
50°C				
55°C				
60°C				

3.4.4 Análisis de resultados del diseño de experimentos. De acuerdo al ANOVA que se encuentra en la Tabla 14 y a las gráficas de interacción de variables (Gráficas 3 a 8), se encuentra que las mejores condiciones para operar el deshidratador y obtener la humedad deseada en menos tiempo son con una temperatura de 55°C, con una velocidad de aire de 8m/s y una humedad relativa del 80% dentro del equipo.

Visualmente las 12 muestras de las experimentaciones, presentan la forma y color característico de una fresa, lo que muestra que el flujo del aire y la temperatura dentro de la maquina no maltrata la fruta. Sin embargo, las muestras realizadas a 60°C, tienden a presentar bordes quemados y las muestras a 50°C quedan más húmedas (con humedades superiores al 15%) lo que indica que estas últimas necesitan más tiempo de proceso para alcanzar la humedad establecida.

3.4.5 Pruebas de laboratorio. Se vuelve a realizar una prueba bajo las variables escogidas en la sección 3.4.4, con el fin de enviar una muestra de fruta deshidratada a un laboratorio certificado, para verificar la humedad final del producto, el contenido de vitamina C y los °Brix. Se envió una muestra de 88 gramos a Biopolab, el cual es un laboratorio de análisis químico y microbiológico de aguas y alimentos, ubicado en la Carrera 18 # 63 A-50 en la ciudad de Bogotá.

En la Tabla 16 se muestra una comparativa del contenido de vitamina C entre el producto encontrado en el mercado con el producto generado en la experimentación, para una dieta diaria de 2000kcal al cual corresponde una cantidad de vitamina C de 55mg/100g<sup>27</sup>.

Tabla 16. Comparación contenido de vitamina C

Producto	Vitamina C (mg/100g)
Fresa experimento	182
Insualimentos SAS	14,85

En cuanto a los resultados para los azucares fueron de 73,1°Bx. En el mercado no se encontró un valor para poderse comparar con el obtenido.

La humedad arrojada por las pruebas se estableció en 14,9%, lo cual se encuentra dentro del rango establecido (13 a 15%), mostrando una concordancia con los resultados arrojados en las pruebas del anexo E.

Biopolab realizó la prueba de vitamina C por el método AOAC 967.21, °Bx por el método AOAC 932.12 y la humedad por el método AOAC 934.01, los resultados de laboratorio se encuentran en el anexo F.

---

27 INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Guías alimentarias para la población Colombia mayor de 2 años. Recomendación de consumos diarios de calorías y nutrientes para la población colombiana. [En línea] Disponible en (<http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/Descargas1/POBLACIONMAYORDE2A%C3%91OS.pdf>)

## 4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL DESHIDRATADOR

La propuesta del deshidratador EcoVitale se hace tomando en cuenta las consideraciones encontrados en el deshidratador piloto.

### 4.1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Para el balance de masa se utilizan 5,5 kg de fruta fresca (valor brindado por EcoVitale) y se realiza el mismo procedimiento hecho de la sección 2.1 a la 2.4.

En cuanto al balance de energía, se realiza del mismo modo que se realizó de la sección 2.2 a la 2.4 a solo 55°C como temperatura de operación y una velocidad del aire de 8m/s de acuerdo a lo establecido en la sección 3.4.4. En la tabla 17 se resume el balance de masa y energía para el deshidratador EcoVitale, se tomó un factor de servicio del 20% por seguridad del diseño.

Tabla 17. Resumen de variables encontradas en el Balance de masa y energía

Temperatura (°C)	m (kg aire seco)	Fruta seca (kg)	V (m <sup>3</sup> aire seco)	Q (kJ)	P (kW)
55	45,4	0,607	70,8	15030,74	4,17

### 4.2 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES

Para el armario se plantea una construcción similar a la del deshidratador piloto (Cold Rolled), las paredes que entran en contacto en el trayecto del flujo de aire serán curvas, garantizando el viaje del aire a través del equipo con la velocidad y fuerza necesaria para llegar de nuevo al ventilador y así impulsarse de nuevo.

Al igual que en el piloto, se incluye un espacio entre la pared interna y externa del equipo, para colocar frescasa como aislante térmico. Durante la experimentación se palmaron las paredes externas del piloto y estas siempre se encontraron frías.

Se utilizarán 12 bandejas de 40 cm x 34 cm malla 430 de acero inoxidable con un espaciamiento entre ellas de 5 cm, cada bandeja podrá contener 460 gramos de fruta fresca aproximadamente para un total de 5,5 kilogramos de fruta fresca en un proceso de 5 horas.

El motor para el ventilador se requiere de una potencia mayor a la del piloto debido a que debe mover un mayor flujo de aire a través del equipo. Por recomendación de Wagner Ingenieros, se utilizarán dos motores similares a los del piloto, para abarcar mayor área de flujo de aire, estos motores tienen una potencia de 0,4 Hp y vienen con certificación IP55 (protección contra humedad y calor), de marca Siemens de 4 polos, las aspas del ventilador se diseñan de un tamaño que puedan garantizar que el motor pueda generar el torque requerido para moverlas. Las especificaciones de los motores se encuentran en el anexo G.

Se agrega un segundo variador para controlar el otro motor, debido a que, si se utiliza uno solo con dos motores, la potencia de los mismos se puede reducir

considerablemente, debido a que la potencia del motor se reparte entre variador y variador generando que no se logre mover la cantidad requerida de aire (encontrada en el balance de masa).

La caja de control del deshidratador se encuentra en el anexo H.

En la tabla 17 se observa la cantidad total de aire que fluye en el equipo para deshidratar 5,5 kg de fruta fresca, se utilizan 5 enfocadores para la distribución de aire uniforme, por abertura entre enfocadores fluiría 7,57 kg de aire aproximadamente.

El extractor seguirá con la misma función que en piloto, en donde si la temperatura leída máxima de bulbo húmedo es mayor a la establecida en el controlador, el extractor retirara el aire necesario para que la temperatura leída de bulbo húmedo sea inferior a la establecida.

Se colocarán dos aberturas al igual que en piloto, para la renovación de aire, la abertura de la izquierda tendrá instalado el extractor de aire caliente.

Las termocuplas se no se ubicarán tan cerca de las resistencias como en el piloto (a una distancia mayor de 10 cm), debido a que esto causa un aumento de la temperatura leída, siendo un valor erróneo por lo que no se mide la temperatura real del aire sino también parte de la radiación que emiten las resistencias.

Para el deshidratador EcoVitale, se recomienda cinco termocuplas tipo RTD (Pt100), cuatro para controlar la temperatura de bulbo seco dentro de la máquina y una para la temperatura de bulbo húmedo; no se recomienda tipo K, como las que se utilizaron en el piloto debido a que presentan un valor no tan exacto de la temperatura al no indicar 1 decimal (0,1 °C), además, siempre se presentó un desfase de temperatura, por lo que se requirió de unas termocuplas RTD (Pt100) para verificar la temperatura real interna. El desfase aproximado fue de 10 a 8 °C.

Se requiere termocuplas RTD (Pt100) debido a que entre mayor exactitud se tenga en el proceso, más fácil será controlarlo, además que, al establecer las temperaturas de bulbo húmedo máximo en el equipo, no se puede introducir 1 valor decimal en termocuplas tipo K, lo cual va ligado a un error de aproximación.

En cuanto a la posición de las termocuplas para la temperatura de bulbo seco dentro de la máquina, para que la temperatura de aire sea uniforme se ubicaran dos termocuplas antes del paso de aire entre las bandejas y dos termocuplas después del paso de aire entre las bandejas, las termocuplas se ubicaran entre las bandejas 3 y 9 aproximadamente, para garantizar que tanto la parte superior y como la parte inferior tengan un control de temperatura.

Para la temperatura de bulbo húmedo, que es la que controla el encendido del extractor, no se ve necesario el uso de dos termopozos como en el piloto, debido a que un segundo termopozo solo se encargó de lectura. Una posible posición estaría entre las bandejas 7 y 8, después del paso de aire entre bandejas.

Se plantea utilizar seis resistencias aleteadas de 700 W cada una, para un total de 4,2 kW y cumplir el requerimiento energético encontrado en el balance de energía (tabla 17), de igual forma, para garantizar un flujo uniforme de aire caliente en cada bandeja, se requerirá una resistencia en cada abertura de los enfocadores.

Una falencia que se encontró en el deshidratador piloto, fue el escape de aire caliente por el sello de la puerta, para ello se recomienda el uso de un sello adherente imantado parecido al sello de una nevera, esto para evitar pérdidas de energía y un posible descontrol de la humedad dentro del equipo.

Los controladores de temperatura serán Autonics serie TCN4S para establecer las temperaturas y tener un mejor control.

Por costos se fabrica el deshidratador en cold rolled y para evitar la oxidación del material, se recubrirá con una pintura electrostática, ayudando a que no se produzca corrosión en el material debido a la humedad que maneja dentro del equipo.

Los planos del equipo con especificaciones y medidas del equipo se encuentran en el anexo J.

Para el uso del deshidratador, el manual de operación se encuentra en el anexo I.

## 5. COSTOS

Los costos de la construcción y operación del deshidratador piloto y el deshidratador EcoVitale Orgánico, se encuentran a continuación.

### 5.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

A continuación, se presentan los costos de construcción del deshidratador piloto, y un estimado para el deshidratador EcoVitale.

5.1.1 Piloto. Los costos de construcción del piloto presentes en la tabla 18 fueron brindados por Wagner Ingenieros, en el momento de realizar la consulta para la fabricación del deshidratador piloto.

Tabla 18. Costos de materiales y construcción del piloto

Parte	Cantidad	Valor unitario	Total valor (COP)
Motor (1la7 070-4YC60)	1	\$373.800	\$ 373.800
Extractor	1	\$120.000	\$ 120.000
Resistencias	3	\$50.000	\$ 150.000
Termocuplas (Tipo K)	4	\$45.000	\$ 180.000
Bandejas	3	\$40.000	\$ 120.000
Armario y accesorios (Cold Rolled)	1	\$966.640	\$ 966.640
Ventilador	1	\$25.000	\$ 25.000
Puerta	1	\$26.026	\$ 26.026
Soporte Bandejas	6	\$3.300	\$ 19.800
Enfocador ventilador	1	\$22.000	\$ 22.000
Cajón de puerta	1	\$26.000	\$ 26.000
Base motor	1	\$27.038	\$ 27.038
Termopozo	2	\$30.000	\$ 60.000
Pirómetros	4	\$180.000	\$ 720.000
Contactores	4	\$25.000	\$ 100.000
Breaker	5	\$35.000	\$ 175.000
Cableado	1	\$100.000	\$ 100.000
Tablero	1	\$85.000	\$ 85.000
Variador	1	\$450.000	\$ 450.000
Frescasa	1	\$120.000	\$ 120.000
Entrada aire	1	\$6.500	\$ 6.500
Salida aire	1	\$5.200	\$ 5.200
Mano de obra	1	\$721.996	\$ 721.996
<b>Total</b>		<b>\$3.483.500</b>	<b>\$ 4.600.000</b>

Fuente. Wagner Ingenieros; recopilado y modificado por los autores

5.1.2 Deshidratador. Los costos de la tabla 19 son un valor estimado de la construcción del deshidratador EcoVitale Orgánico en Wagner Ingenieros.

Tabla 19. Costos de materiales y construcción del deshidratador

Parte	Cantidad	Valor unitario	Total valor
Motor (1la7 070-4YC60)	2	\$373.800	\$ 747.600
Extractor	1	\$120.000	\$ 120.000
Resistencias	6	\$50.000	\$ 300.000
Termocuplas (RTD Pt100)	5	\$229.600	\$ 1.148.000
Bandejas	12	\$40.000	\$ 480.000
Armario y accesorios (Inox. 304)	1	\$1.478.190	\$ \$1.478.190
Ventilador	2	\$25.000	\$ 50.000
Puerta	1	\$52.052	\$ 52.052
Soporte bandejas	24	\$3.300	\$ 79.200
Enfocador ventilador	2	\$22.000	\$ 44.000
Cajón de puerta	1	\$52.000	\$ 52.000
Base motor	2	\$22.038	\$ 44.076
Termopozo	1	\$30.000	\$ 30.000
Pirómetros	5	\$180.000	\$ 900.000
Contactores	4	\$25.000	\$ 100.000
Breaker	5	\$35.000	\$ 175.000
cableado	1	\$150.000	\$ 150.000
Tablero	1	\$85.000	\$ 85.000
Variador	2	\$450.000	\$ 900.000
Frescasa	1	\$120.000	\$ 120.000
Entrada aire	1	\$6.000	\$ 6.000
Salida aire	1	\$5.000	\$ 5.000
Mano de obra	1	\$1.500.000	\$ 1.500.000
<b>Total</b>		<b>\$5.053.980</b>	<b>\$ 8.566.118</b>

Fuente. Wagner Ingenieros; recopilado y modificado por los autores

5.1.3 Comparación con equipos del mercado. En la tabla 20 se encuentra una comparación del costo de compra de deshidratadores industriales con el deshidratador EcoVitale.

Tabla 20. Comparación costo de compra deshidratadores

Referencia	Deshidratador	Valor de compra (COP)
Autores	EcoVitale	\$ 8'566.118
28	Kinkai (300 - 2500 kg fruta fresca por lote)	\$ 11'081.694 - \$ 61'732.265 (Costo FOB)
29	Mona (12 ventiladores)	\$ 6'022.660 – \$ 48'181.280 (Costo FOB)
30	Zeus (60 a 480 kg fruta fresca por lote)	\$ 10'539.655 - \$ 31'113.300 (Costo FOB)
31	Kinkai (300 - 2500 kg fruta fresca por lote)	\$ 12'045.320- \$ 75'283.250 (Costo FOB)

## 5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación son de vital importancia, debido a que gracias a ellos se puede fijar un precio de venta del producto generado en cada proceso, de ello depende el éxito o no de una empresa.

5.2.1 Piloto. Para los costos de operación del piloto se tienen en cuenta el consumo en watts de cada una de las partes y la cantidad en el deshidratador piloto. Para obtener el consumo por hora se tuvo en cuenta un precio industrial de 446,74 pesos por kWh y para el consumo total de la maquina se tiene en cuenta las 5 horas de proceso que se requiere para llegar a la humedad establecida (13-15%) a 55°C, una velocidad del aire de 8m/s y una humedad relativa del 90% dentro del equipo.

28 ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/professional-fruit-drying-equipment-fruit-dryer-machine-industrial-fruit-dehydrator-60214382647.html>)

29 ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/fruit-drying-machine-dehydration-machine-industrial-food-dehydrator-60439254249.html>)

30 ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-food-dehydration-machine-tea-leaf-drying-machine-grape-dryer-60182207281.html>)

31 ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/2015-new-technology-industrial-food-fruit-vegetable-heat-pump-dehydrator-dryer-drying-machine-60270762449.html>)

En la tabla 21, se especifican las partes y número de partes del equipo, su consumo correspondiente (de acuerdo con lo que está encendido al momento de operar la máquina) al deshidratador piloto. Además, se muestran los costos de los 15 minutos adicionales utilizados para el calentamiento de las partes metálicas del equipo.

$$\text{Total kW} = C \cdot W$$

Donde:

C: Cantidad

W: Consumo en kW

Para el consumo por hora:

$$\text{Consumo por hora} = \text{Total kW} \cdot 446,74 \frac{\text{Pesos}}{\text{kWh}}$$

Para el consumo en cinco horas (proceso seleccionado):

$$\text{Consumo cinco horas} = \text{Total kW} \cdot 446,74 \frac{\text{Pesos}}{\text{kWh}} \cdot 5 \text{ horas}$$

Tabla 21. Consumo energético del deshidratador piloto

Parte	W	Cantidad	Total W	Total kW	Consumo por hora	Consumo precalenta (15 min)	Consumo por 5 horas
Resistencias	500	3	1500	1,5	\$670,11	\$167,53	\$3.350,55
Motor	300	1	300	0,3	\$134,02	\$33,51	\$670,11
Extractor	93,1	1	93,1	0,1	\$41,60	\$10,40	\$208,01
Tablero	45	1	45	0	\$20,10	\$5,03	\$100,52
sub-Total			1938	1,9	\$865,84	\$216,46	\$4.329
Consumo total						\$4.545,65	

5.2.2 Deshidratador. La tabla 22 muestra el consumo aproximado para que tuviera el deshidratador EcoVitale Orgánico. Los costos se calcularon de la misma manera que en la sección 5.2.1

Tabla 22. Consumo energético del deshidratador EcoVitale Orgánico

Parte	W	Cantidad	Total W	Total kW	Consumo por hora	Consumo precalenta (15 min)	Consumo por 5 horas
Resistencias	700	6	4200	4,2	\$1.876,31	\$469,08	\$9.381,54
Motor	300	2	600	0,6	\$268,04	\$67,01	\$1.340,22
Extractor	93,1	1	93,1	0,09	\$41,60	\$10,40	\$208,01
Tablero	45	1	45	0,05	\$20,10	\$5,03	\$100,52
sub-Total			4938	4,9	2.206,06	\$551,51	\$11.030
Consumo total						\$11.581,80	

### 5.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN

En la tabla 23 se muestra el valor de producir 1 kg de fresa deshidratada para el piloto, el deshidratador EcoVitale y el existente en el mercado. El precio de la materia prima por kg de fresa fresca es de 9200 pesos<sup>32</sup>. El precio por hora según el salario mínimo legal vigente en Colombia es de 2872,725 pesos.

Tabla 23. Comparación de precio por kg de fruta deshidratada

Referencia	Fruta deshidratada (kg)	Costo materia prima (COP/kg)	Costo base (COP/kg)	Costo mano de obra (COP/5h)	Costo total (COP/kg)
Piloto	0,167	\$ 9.200	\$ 27.219	\$ 14.364	\$ 50.783
Deshidratador EcoVitale	0,6	\$ 9.200	\$ 19.303	\$ 14.364	\$ 42.867
Insualimentos SAS	0,1	-	-	-	\$ 200.000

32 CORABASTOS. Comparativo estacional por producto. Frutas. Fresa 2015-2016. . [En línea] Disponible en ([http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=471&Itemid=261](http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=471&Itemid=261))

## 6. CONCLUSIONES

- Las variables de operación más eficientes para deshidratar fresa fueron 55°C, con una velocidad de aire de 8m/s y una humedad relativa interna de 80%, y con estas se logró un tiempo de operación de 5 horas para llegar a una humedad final de la fruta de entre 13 y 15%
- El espaciamiento entre bandejas que funcionó mejor fue el de 5 cm entre y bandeja, lo que permite una mejor uniformidad en el secado y mayor cantidad de bandejas en el equipo
- El deshidratador EcoVitale Orgánico presenta un costo de producción por kilogramo, inferior a los analizados en el mercado, siendo este valor \$42.867/kg de fruta deshidratada, ideal para una micro empresa
- El contenido de vitamina C inicial en la fresa fresca promedio según las referencias consultadas fue de 50,6 mg/100g aproximadamente, el promedio de contenido de azúcares fue de 7,76°Bx. Según los resultados de laboratorio realizados a la fruta deshidratada, el contenido de vitamina C y azúcares fueron de 182 mg/100g y 73,1°Bx respectivamente
- Esta propuesta de diseño, resultó ser más económica en comparativa con opciones de deshidratadores en el mercado, los cuales son equipos con grandes dimensiones y capacidades de producción, encontrándose por encima de las capacidades que posee una microempresa

## 7. RECOMENDACIONES

- Estudiar y diseñar el proceso de purificación y secado del aire, con el que se deshidrata la fruta, y verificar como afecta esto en el tiempo de proceso y la calidad de la fruta
- Controlar la temperatura de bulbo húmedo mínima dentro del equipo y estudiar el efecto que pueda tener en el proceso
- Probar mayores velocidades de aire, comprobar la calidad de la fruta y el tiempo de secado
- Determinar la humedad inicial de las fresas frescas por el método AOAC 934.01

## BIBLIOGRAFÍA

ABAD Martha. diseño de un secador prototipo (escala industrial) para la deshidratación de manzanas (pyrus malus l.) y peras (pyrus communis). Escuela Politécnica nacional. Tesis Facultad de Ingeniería química y agroindustria. Ingeniería química. Quito. 2015. [En línea] Disponible en (<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10484>)

ACUSTITIENDA. Frescasa. Aplicaciones. Características. [En línea] Disponible en ([http://www.acustitienda.com/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=22&category\\_id=5&option=com\\_virtuemart&Itemid=2](http://www.acustitienda.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=22&category_id=5&option=com_virtuemart&Itemid=2))

ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/professional-fruit-drying-equipment-fruit-dryer-machine-industrial-fruit-dehydrator-60214382647.html>)

ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/fruit-drying-machine-dehydration-machine-industrial-food-dehydrator-60439254249.html>)

ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-food-dehydration-machine-tea-leaf-drying-machine-grape-dryer-60182207281.html>)

ALIBABA. Deshidratador de bandejas. [En línea] Disponible en (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/2015-new-technology-industrial-food-fruit-vegetable-heat-pump-dehydrator-dryer-drying-machine-60270762449.html>)

AUTONICS SENSORS & CONTROLLERS. Controles de temperatura. Controlador de temperatura PID de doble display y bajo costo. Serie TCN. [En línea] Disponible en ([http://autonics.com.mx/products/products\\_detail.php?catecode=02/01/01&db\\_uid=1497](http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=1497))

AUTONICS SENSORS & CONTROLLERS. Controles de temperatura. Funciones esenciales y rendimiento mejorado. Serie TC. [En línea] Disponible en ([http://autonics.com.mx/products/products\\_detail.php?catecode=02/01/01&db\\_uid=1476](http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=1476))

AVIARA Ndubisi, ONUOHA Lovelyn, FALOLA Oliwakemi, IGBEKA Joseph. Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer. Energy. Nigeria. Edición 73. 2014. Páginas 809-817. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

BOTANICAL. Fresas y fresones. Propiedades alimentarias de las hojas del fresal. Composición de las fresas. [En línea] Disponible en (<http://www.botanical-online.com/fresasfresones.htm>)

CAICEDO Jorge, ORTÍZ Fabián. Diseño conceptual de un secador para la adecuación del porcentaje de humedad del cáliz de la uchuva de exportación. Fundación Universidad de América. Tesis facultad de Ingenierías. Ingeniería Química. Bogotá. 2006

CASIERRA Fánor, PEÑA Jaime y VARGAS Andrés. Propiedades Fisicoquímicas de Fresas (*Fragaria sp*) Cultivadas Bajo Filtros Foselectivos. Revista Facultad de Agronomía Universidad Nacional. Medellín. 2011. Página tres. 0304-2847. [En línea] Disponible en (<http://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=179922664019>)

COLAK Neslihan, HEPBASLI Arif. Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer. Journal of food engineering. Turquía. Edición 80. 2007. Páginas 1188-1193. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

CORABASTOS. Comparativo estacional por producto. Frutas. Fresa 2015-2016. . [En línea] Disponible en ([http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=471&Itemid=261](http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=471&Itemid=261))

CREUS ANTONIO. Instrumentación industrial. AlfaOmega. Barcelona. Octava edición. 2011. Página 229

DAS Shawik, DAS Tapash, RAO Srinivasa, JAIN R.K.. Performance analysis of drying of Green olive in a tray dryver. Journal of food engineering. India. Edición 50. 2001. Páginas 223-227. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

DOYMAS Ibrahim. Convective drying kinetics of strawberry. Chemical Engineering and Processing. Turquía. Edición 47. 2008. Página 915. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

DURAN Daniel, GÓMEZ Rosa. Propuesta de mejoramiento de las condiciones de deshidratación de mango (*manguijera incida l.*) en la empresa frutos de los andes Fruandes S.A.S.. Fundación Universidad de América. Tesis facultad de Ingenierías. Ingeniería Química. Bogotá. 2014

EMPRESARIO. Ficha de producto fresa. Ecofisiología. Requerimientos nutricionales. [En línea] Disponible en (<http://www.empresario.com.co/recursos/p-ageflip/MEGA/megafresa/>)

FERRUCHO Ana María, RUÍZ Diana. Evaluación y comparación del comportamiento agronómico de dos cultivares de fresa ('Albión' y 'Monterey') sembrados a libre exposición y bajo macro túnel en la sabana de Bogotá (Colombia). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de ciencias básicas y aplicadas. Tesis biología aplicada. Cajicá. 2013. [En línea] Disponible en (<http://repositor.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11635/1/Ferrucho%20y%20Ruiz.%202014.%20Evaluaci%C3%B3n%20y%20comparaci%C3%B3n%20del%20comportamiento%20agron%C3%93mico%20de%20fresa.pdf>)

FONSECA VASCO LUIS FELIPE. Manual de la fresa. Cámara de Comercio. Bogotá. Primera edición. 2015. Página 1-13. [En línea] Disponible en (<http://bibliotecadigital.ccbe/11520/14312/Fresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

FONSECA VASCO LUIS FELIPE. Manual de la fresa. Cámara de Comercio. Bogotá. Primera edición. 2015. Página 32. [En línea] Disponible en (<http://bibliotecaDigital.ccbe/11520/14312/Fresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

FRUTA SECA DE VERONA. Preguntas frecuentes. Cuáles son las ventajas de las frutas deshidratadas. [En línea] Disponible en (<http://www.frutasecaverona.com/esp.html>)

FRUTA SECA DE VERONA. Preguntas frecuentes. Qué es deshidratación. [En línea] Disponible en (<http://www.frutasecaverona.com/esp.html>)

GAMBOA Juliana, MEGIAS Roberto, SORIA Cristina, OLANO Agustin, MONTILLA Antonia, VILLAMIEL Mar. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry. Madrid. Edición 153. 2014. Página 166. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

GAMBOA Juliana, MEGIAS Roberto, SORIA Cristina, OLANO Agustin, MONTILLA Antonia, VILLAMIEL Mar. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry. Madrid. Edición 153. 2014. Página 167. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

GEANKOPLIS CHRISTIE J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ceca. Minnesota. Tercera edición. 1998. Página 580. [En línea] Disponible en (<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>)

GEANKOPLIS CHRISTIE J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ceca. Minnesota. Tercera edición. 1998. Páginas 993.

HELDMANN Dennis, SINGH Paul. Introducción a la ingeniería de alimentos. Acribia S.A.. Estados Unidos. Segunda edición. 1997. Página 185. I.S.B.N. 978-84-200-1124-0. [En línea] Disponible en (<http://es.slideshare.net/DanielDuarte22/introduccion-a-la-ingenieria-de-los-alimentos-paul-singh-dennis-heldman>)

HOLLMAN J.P.. Transferencia de calor. McGrawHill. Estados Unidos. Octava edición. 1998. I.S.B.N. 84-481-2040-X

ICBF. Hoja de balance de alimentos colombiana. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Colombia. 2010. Página 65. I.S.B.N. 978-92-5-308683-2. [En línea] Disponible en (<http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/Bienestar/Nutricion/Hoja%20de%20Balance%20de%20Alimentos%20Colombiana%20-HBA%202010%20vf%20FAO-ICBF.pdf>)

INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SECADO EN PARÁMETROS DE CALIDAD RELACIONADOS CON LA ESTRUCTURA Y EL COLOR DE MANZANA Y FRESA. DESHIDRATADA. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Tesis doctoral. Valencia. 2006. [En línea] Disponible en (<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1932/tesisUPV2345.pdf>)

INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Guías alimentarias para la población Colombia mayor de 2 años. Recomendación de consumos diarios de calorías y nutrientes para la población colombiana. [En línea] Disponible en (<http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/Descargas1/POBLACIONMAYORDE2A3%91OS.pdf>)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. NTC 1486 Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110p.

JURADO Julieth, MONTOYA Esther, OLIVEROS Carlos, GARCIA Javier. Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. Cenicafe. Colombia. 2009. [En línea] Disponible en ([http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(02\)108-118.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(02)108-118.pdf))

MARTINEZ G., MERCADO J., LÓPEZ M., PRIETO Z.. Propiedades fisicoquímicas de seis variedades de fresa (fragaria ananassa) que se cultivan en Guanajuato. Instituto de ciencias agrícolas de la Universidad de Guanajuato. México. 2008. Página 6,7. [En línea] Disponible en (<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/.../A071.pdf>)

MCCABE Warren, SMITH Julian, HARRIOTT Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill. Estados Unidos. Cuarta edición. 1991. Páginas 1095. I.S.B.N. 0-07-044828-0

MENCHÚ María Teresa, MÉNDEZ Humberto. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. Incap. Panamá. Segunda edición. 2012. Página 56. I.S.B.N. 99922-880-2-7. [En línea] Disponible en (<https://deymergfi.les.wordpress.com/2013/07/tabla-de-composicion-de-alimentos-paractoaamerica-del-incap.pdf>)

MINITAB. Qué es ANOVA?. Soporte de MINITAB 17. [En línea] Disponible en (<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova/>)

PROVINDUS. Resistencias industriales. Resistencias aleteadas. [En línea] Disponible en ([http://www.provindus.com.py/Productos\\_Eltra.html](http://www.provindus.com.py/Productos_Eltra.html))

RESOLUCIÓN 4142. Requisitos sanitarios y prohibiciones de los materiales metálicos. 2012. [En línea] Disponible en (<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=50950#0>)

RUÍZ Ángela. Factores de escala para la producción biotecnológica de etanol carburante. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Tesis doctorado de Ingeniería. Medellín. 2009. [En línea] Disponible en (<http://www.bdigital.unal.edu.co/10291/1/43674021.2009.pdf>)

SAMEC Dunja, MARETIC Marina, LUGARIC Ivana, MESIC Aleksandra, SALOPECK Branka, DURALIJA Boris. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. Food Chemistry. Edición 194. Croacia. 2015. Página 831. [En línea] Disponible en ([www.ScienceDirect.com](http://www.ScienceDirect.com))

TREYBAL Robert. Operaciones de transferencia de masa. McGraw-Hill. Estados Unidos. Segunda edición. 1988. Páginas 258, 262

## ANEXOS

ANEXO A  
ESTUDIO DE MERCADO DE FRESAS

Marca	Tamaño (Cm) aproximado	Peso (g)	Costo (COP)
	Alto x Ancho x Espesor		
Insualimentos SAS	2,5x2x0,25	100	20.000
Fruta seca de Verona	2,8x2,2x0,1	70	13.770
Biocampo	2,5x2x0,25	250	15.900

Marca	Costo 50 g (COP)	Información Nutricional (100 g)	
		Azúcares (g)	Vitamina C (%)
Insualimentos SAS	10.000	75,2	27
Fruta seca de Verona	9.800	18,9	3,7
Biocampo	3.200	No disponible	No disponible



**INSUALIMENTOS**  
*Premium*

**FRESA DESHIDRATADA**  
INGREDIENTES: FRESA DESHIDRATADA REG. SAN. RSAD12108400

PRODUCIDO Y ENVASADO POR INSUALIMENTOS S.A.S  
CRA 198 # 166-86, BOGOTÁ-COLOMBIA  
TELÉFONO: 3004500-4660458-5261385  
www.insualimentos.com

USOS: PASTELERÍA, PASTELERÍA, GALLETERÍA.

CONSERVAR EN UN LUGAR FRESCO Y SECO, LEJOS DE OLORES FUERTES.

**ESTE PRODUCTO SE FABRICA EN UNA PLANTA DONDE SE PROCESAN  
ALMENDRAS, NUECES Y AVELLANAS.**

**PESO NETO 100g**  
**P.L.U. 949637**

7 704661 920495

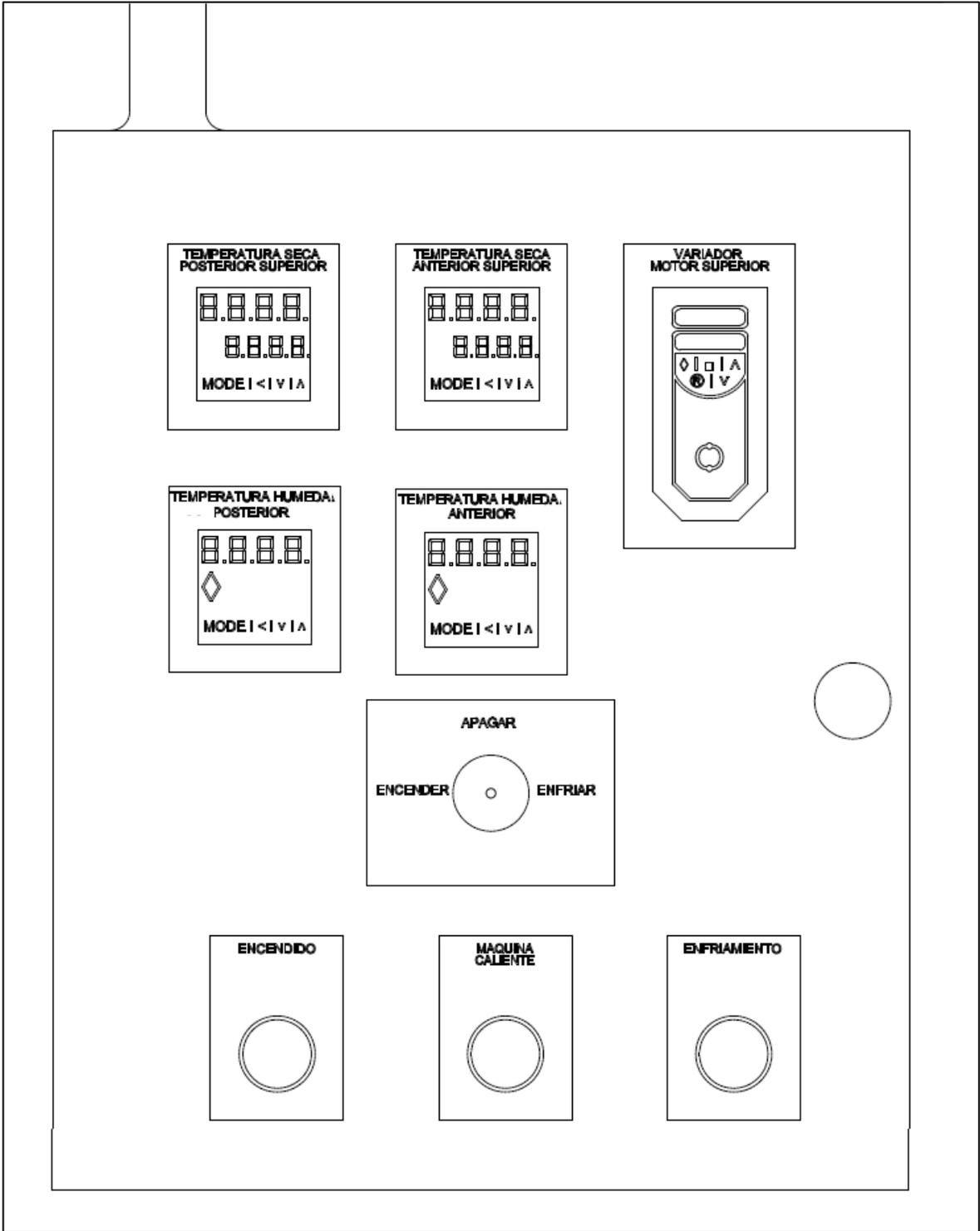
INFORMACIÓN NUTRICIONAL: PORCIÓN: 100 g, CONTIENE PORCIÓN: CALORÍAS 319,  
GRASA TOTAL 0.7g (1% VDL), GRASA SAT. 0.1g (1% VDL), GRASA TRANS 0g,  
COLESTEROL 0mg (0% VDL), SODIO 6mg (7% VDL), CARB. TOTAL 81.6g  
(21% VDL), FIBRA DIETARIA 5.2g (21% VDL), AZÚCARES 16.3g, PROTEÍNAS 1.4g  
VITAMINA A (0% VDL), VITAMINA C (2% VDL), CALCIO (3% VDL), HIERRO (2% VDL).  
LOS PORCENTAJES DE VALORES DIARIOS ESTÁN ESTABLECIDOS EN UNA  
DIETA DE 2000 CALORÍAS.







ANEXO B  
CAJA DE CONTROL DESHIDRATADOR PILOTO

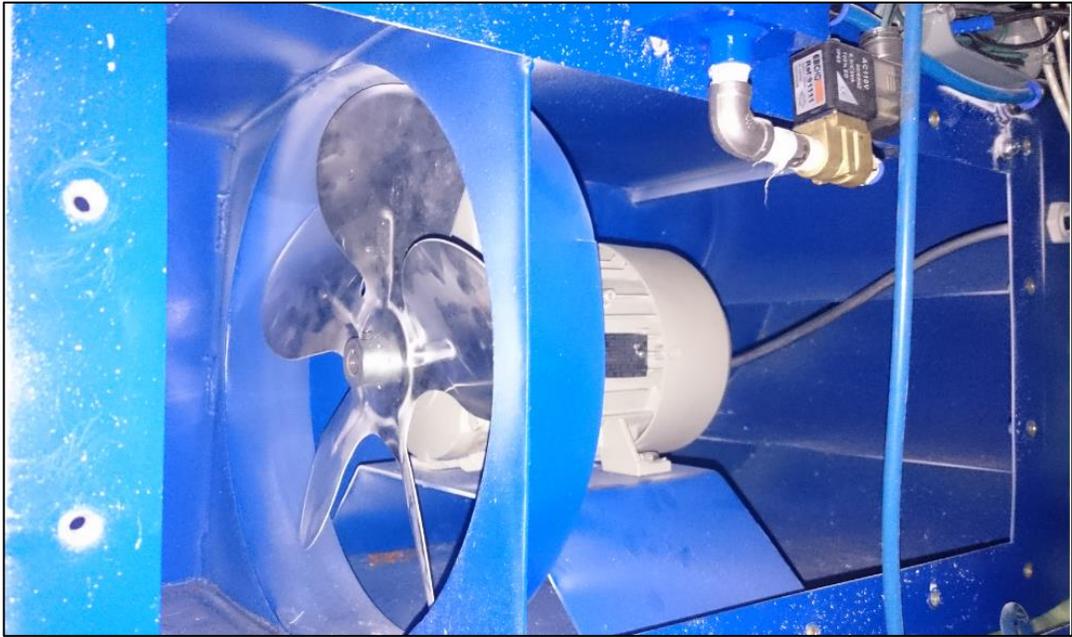


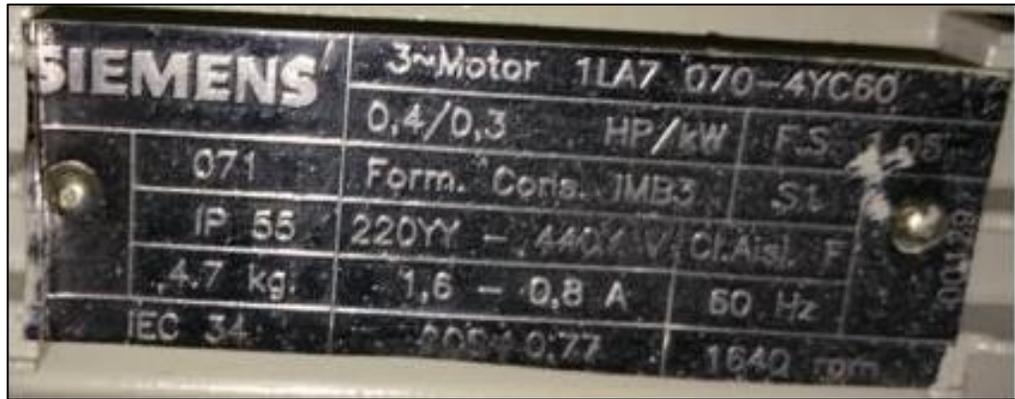
ANEXO C  
FOTOS DEL DESHIDRATADOR PILOTO















ANEXO D  
FOTOS DEL PATRÓN, CALIBRACIÓN Y FICHA TÉCNICA DE LA BALANZA



---

# MIX - M

(Ver. t8022)

## BALANZA ELECTRONICA LIQUIDADORA



### MANUAL DEL USUARIO



\*\* Características y especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso \*\*

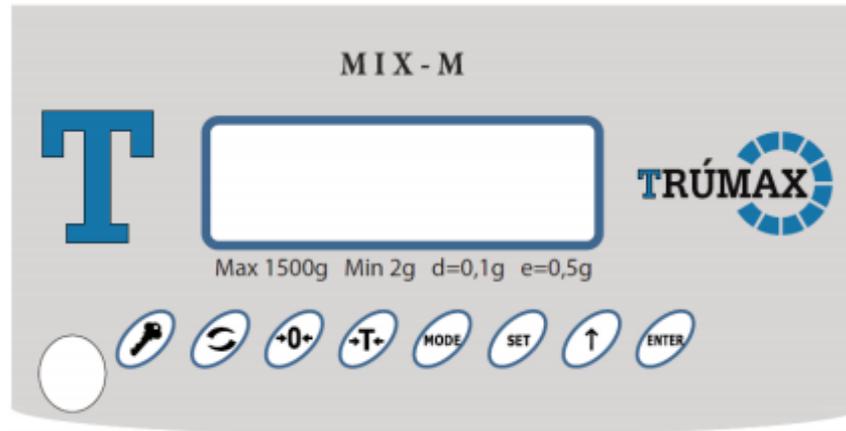
Ver. 4(2015-09).

## 1. Características.

Modelo	<b>MIX - M</b>
Capacidad	1500 g
División	0,1 g
Escala de verificación	0,5 g
Carga mínima	2 g
Resolución	1/15.000
Clase	III
Unidades de medición	g, ct, lb, oz, dr, gn, ozt, dwt
Interface	RS-232
Tiempo estabilización	≈ 3 Segundo
Temperatura operación	5°C - 40°C / 41°F - 104°F
Humedad relativa	≤ 85 % RH
Fuente alimentación (adaptador)	110 Vac, 60Hz, 10 watts
Batería	6 V , 1,3Ah, (30 horas de operación aprox)
Calibración	Cero y span hasta 100%, por teclado
Display	Display LCD, 6 dígitos de 2 cm, con luz de respaldo led
Carcasa	ABS alta resistencia
Dimensiones del plato	18,5 x 14 cm
Teclado	8 Teclas tipo pulsador
Peso Bruto	2 kg

Nota: Algunas de las características operativas pueden variar, dependiendo de la versión del equipo.

## 2. Descripción del panel y de las señales



Ajuste de peso (calibración) y configuración.



Cambio de unidades de peso. (g, ct, lb, oz, dr, gn, ozt, dwt, MM, T1.J, t1T, t1.H o t.)



Cero de la balanza.



Tara de la balanza.



Selección de modos.



Límites de peso.



Selección de opciones.



Confirmación.



Indica el cero de la balanza



Indica que la balanza tiene tara.



Indica batería baja.



Indica estabilidad de la medición.

### **3. Preparación del equipo**

#### **3.1. Instalación**

- a. La balanza debe ser usada en áreas libres de corrientes excesivas de aire, ambientes corrosivos, vibraciones, temperaturas excesivas o humedad extrema.
- b. Coloque la bandeja en el soporte del plato, teniendo cuidado de no presionar sobre el plato.
- c. La balanza debe estar colocada sobre una superficie firme y bien nivelada.
- d. Ningún objeto debe estar en contacto con el plato, excepto la carga a pesar.
- e. Retire la protección de transporte del equipo ubicada en la parte inferior de la balanza. Conserve este accesorio para posteriores envíos a servicio técnico.
- f. Gire las patas ajustables hasta que la balanza esté nivelada.
- g. Oprima el interruptor para encender la balanza, espere hasta que el Test de inicio termine y muestre cero estable.

#### **3.2. Recomendaciones de uso**

- a. No operar la balanza en superficies desniveladas, cerca de ventanas o puertas abiertas que causen cambios bruscos de temperatura, cerca de ventiladores, cerca de equipos que causen vibraciones o expuesto a campos electromagnéticos fuertes.
- b. Si el equipo está conectado a una toma eléctrica que tenga fluctuaciones de voltaje mayores al 10% se recomienda el uso de un estabilizador de voltaje.
- c. A la toma eléctrica donde se conecta la balanza no deben conectarse otros de gran consumo como motores, refrigeradores, cortadoras etc.
- d. No depositar sobre el plato un peso superior a la capacidad máxima.
- e. Mantener limpio el teclado. Utilizar un paño seco (o con un producto de limpieza adecuado) para limpiar las partes del equipo. No usar chorro de agua.
- f. Evitar sobrecargar la balanza al transportarla. No transportar la balanza con el plato puesto.
- g. Utilizar el adaptador de voltaje original. Se debe utilizar únicamente para recargar la batería.
- h. Mantener bien nivelada la balanza. Girar las patas para ajustar el nivel de burbuja en la posición adecuada.

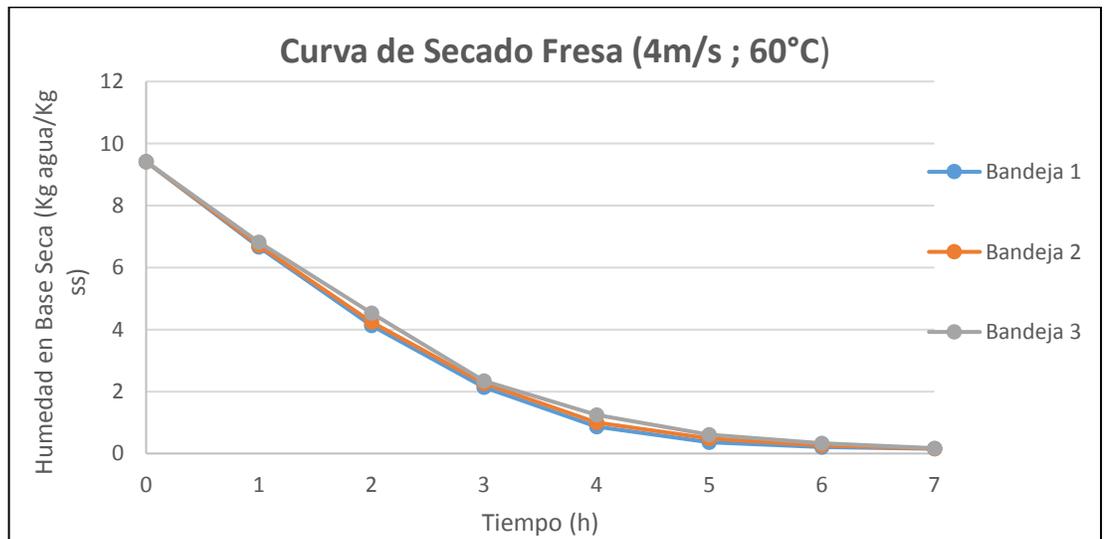
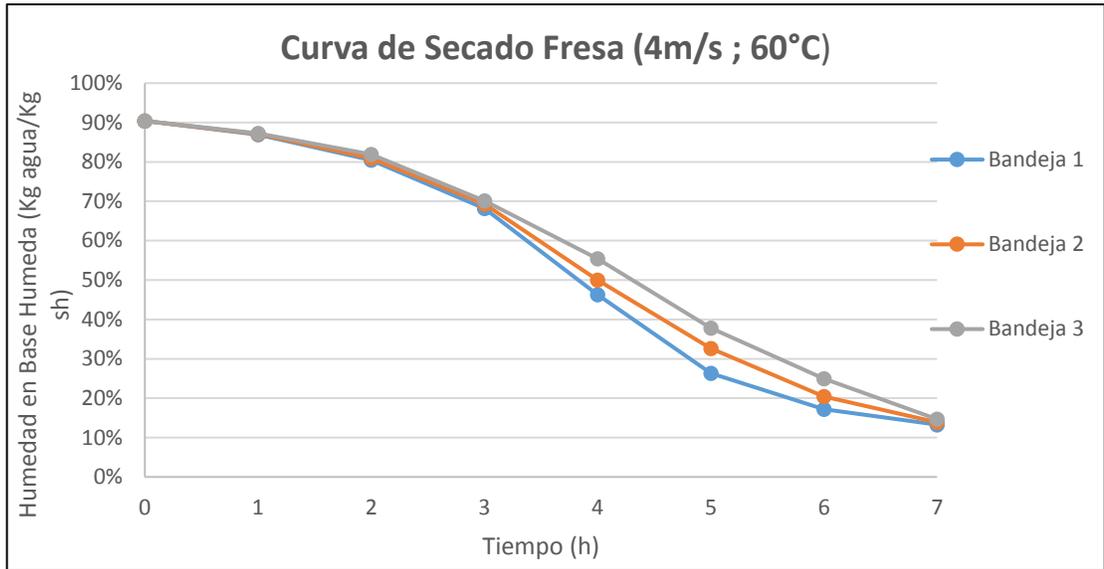
ANEXO E  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE SECADO

90% de Humedad Relativa, 4m/s, 60°C y  $T_{bh \max}=57,8^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1121,5	1122,3	1122,3	458,00	457,60	451,60
1	1000,6	1003,9	1009,9	337,10	339,20	339,20
2	888,9	895,2	910,6	225,40	230,50	239,90
3	801,6	808,0	815,6	138,10	143,30	144,90
4	745,4	752,6	768,0	81,90	87,90	97,30
5	723,2	729,9	740,4	59,70	65,20	69,70
6	716,6	719,9	728,5	53,10	55,20	57,80
7	714,2	715,7	721,5	50,70	51,00	50,80

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	43,97	43,93	43,35	414,03	413,67	408,25
1	43,97	43,93	43,35	293,13	295,27	295,85
2	43,97	43,93	43,35	181,43	186,57	196,55
3	43,97	43,93	43,35	94,13	99,37	101,55
4	43,97	43,93	43,35	37,93	43,97	53,95
5	43,97	43,93	43,35	15,73	21,27	26,35
6	43,97	43,93	43,35	9,13	11,27	14,45
7	43,97	43,93	43,35	6,73	7,07	7,45

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	86,96%	87,05%	87,22%	6,667	6,721	6,824
2	80,49%	80,94%	81,93%	4,126	4,247	4,534
3	68,16%	69,34%	70,08%	2,141	2,262	2,342
4	46,32%	50,02%	55,44%	0,863	1,001	1,244
5	26,35%	32,62%	37,80%	0,358	0,484	0,608
6	17,20%	20,42%	24,99%	0,208	0,257	0,333
7	13,28%	13,86%	14,66%	0,153	0,161	0,172

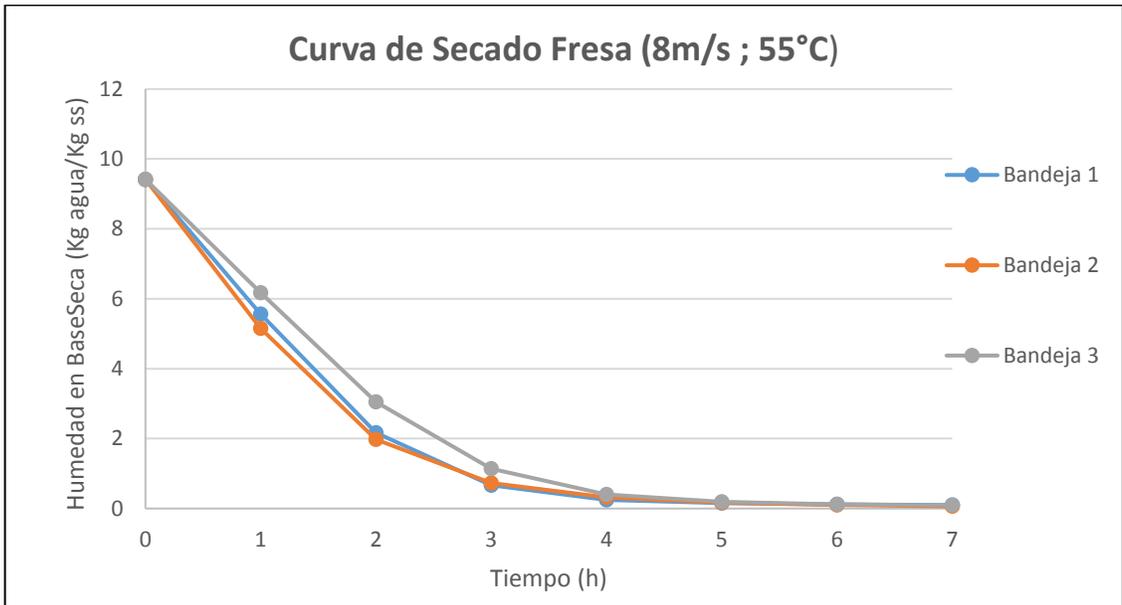
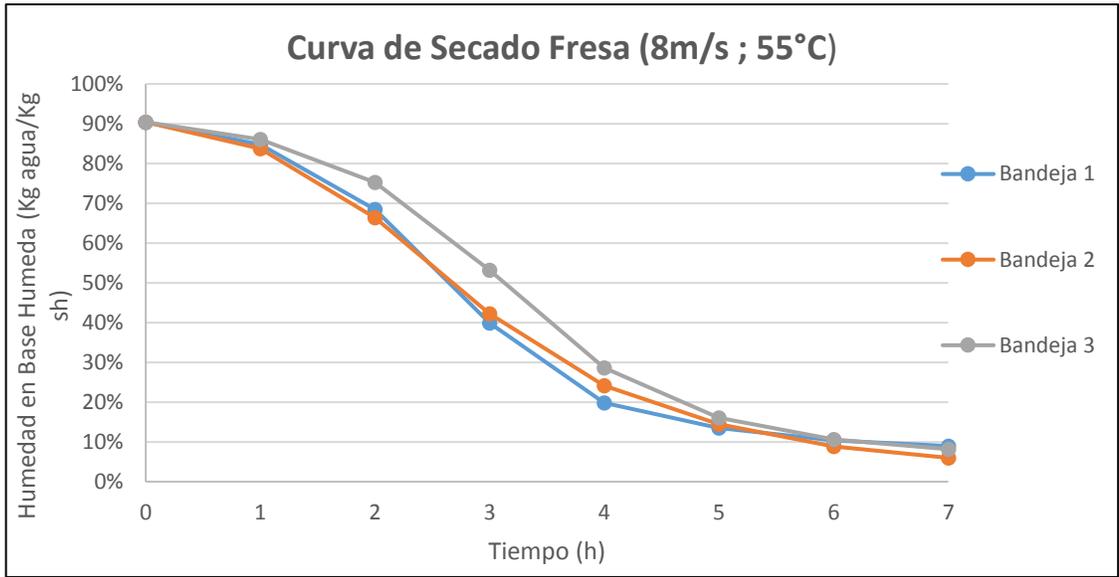


90% de Humedad Relativa, 8m/s, 55°C y  $T_{bh \max}=52,9^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1131,0	1130,8	1130,8	467,50	466,10	460,10
1	958,1	940,1	987,6	294,60	275,40	316,90
2	805,8	797,7	849,4	142,30	133,00	178,70
3	738,2	742,1	765,0	74,70	77,40	94,30
4	719,5	723,7	732,6	56,00	59,00	61,90
5	715,4	717,0	723,3	51,90	52,30	52,60
6	713,6	713,8	720,1	50,10	49,10	49,40
7	712,8	712,3	718,8	49,30	47,60	48,10

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	44,88	44,75	44,17	422,62	421,35	415,93
1	44,88	44,75	44,17	249,72	230,65	272,73
2	44,88	44,75	44,17	97,42	88,25	134,53
3	44,88	44,75	44,17	29,82	32,65	50,13
4	44,88	44,75	44,17	11,12	14,25	17,73
5	44,88	44,75	44,17	7,02	7,55	8,43
6	44,88	44,75	44,17	5,22	4,35	5,23
7	44,88	44,75	44,17	4,42	2,85	3,93

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	84,77%	83,75%	86,06%	5,564	5,155	6,175
2	68,46%	66,36%	75,28%	2,171	1,972	3,046
3	39,92%	42,19%	53,16%	0,664	0,730	1,135
4	19,86%	24,16%	28,64%	0,248	0,319	0,401
5	13,53%	14,44%	16,03%	0,156	0,169	0,191
6	10,42%	8,87%	10,59%	0,116	0,097	0,118
7	8,97%	6,00%	8,17%	0,098	0,064	0,089

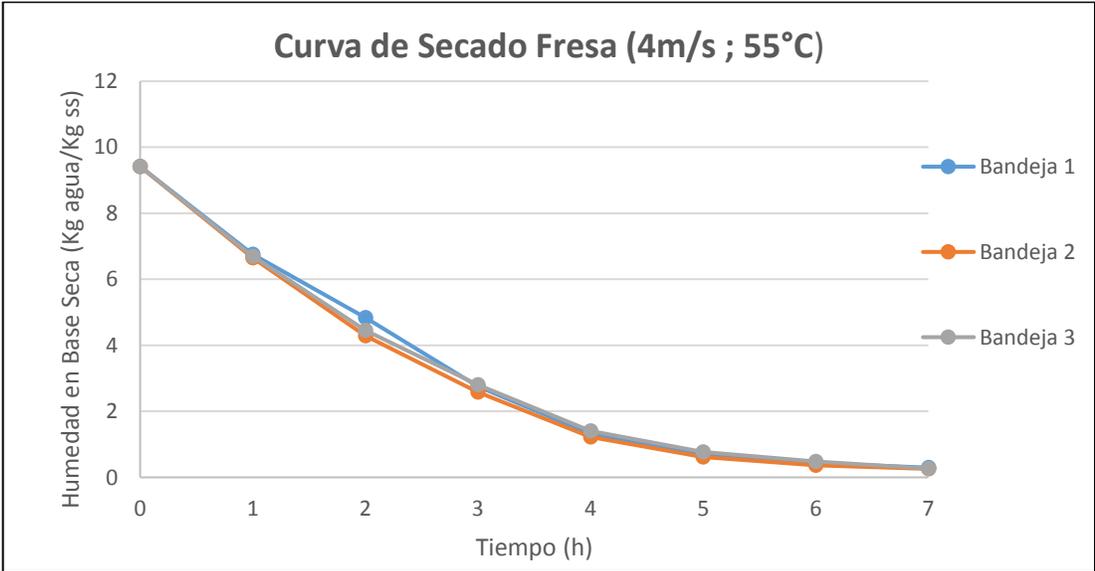
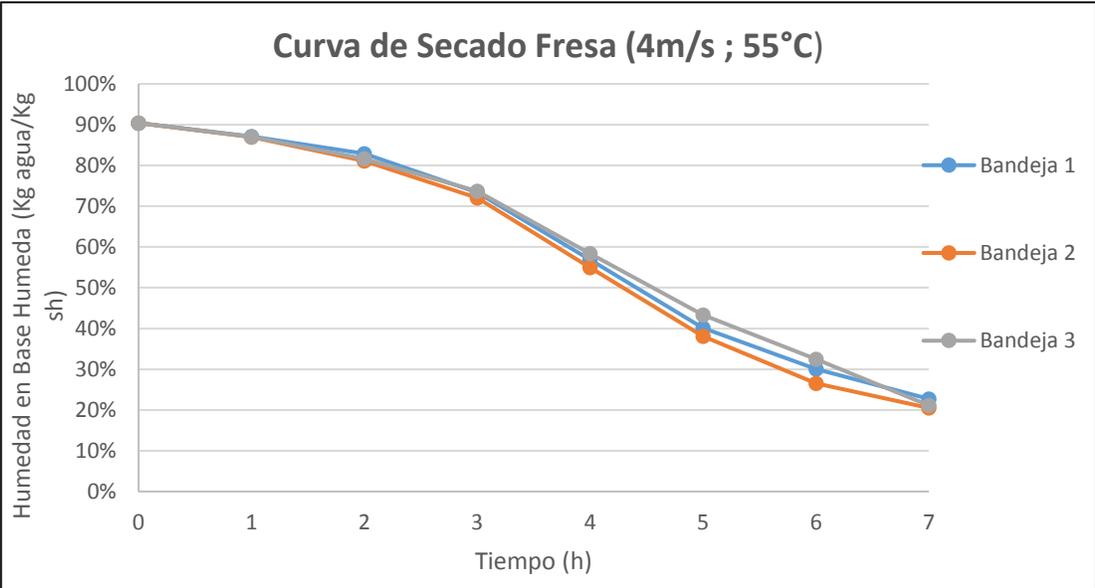


90% de Humedad Relativa, 4m/s, 55°C y  $T_{bh \max}=52,9^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1109,4	1110,2	1293,4	445,90	445,50	456,80
1	995,4	991,7	1174,3	331,90	327,00	337,70
2	913,4	891,0	1075,6	249,90	226,30	239,00
3	824,1	817,9	1003,2	160,60	153,20	166,60
4	762,9	759,7	941,9	99,40	95,00	105,30
5	735,0	733,8	914,0	71,50	69,10	77,40
6	724,7	722,9	901,5	61,20	58,20	64,90
7	718,9	718,5	892,2	55,40	53,80	55,60

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	42,81	42,77	43,85	403,09	402,73	412,95
1	42,81	42,77	43,85	289,09	284,23	293,85
2	42,81	42,77	43,85	207,09	183,53	195,15
3	42,81	42,77	43,85	117,79	110,43	122,75
4	42,81	42,77	43,85	56,59	52,23	61,45
5	42,81	42,77	43,85	28,69	26,33	33,55
6	42,81	42,77	43,85	18,39	15,43	21,05
7	42,81	42,77	43,85	12,59	11,03	11,75

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	87,10%	86,92%	87,01%	6,754	6,646	6,701
2	82,87%	81,10%	81,65%	4,838	4,291	4,450
3	73,35%	72,08%	73,68%	2,752	2,582	2,799
4	56,94%	54,98%	58,35%	1,322	1,221	1,401
5	40,13%	38,11%	43,34%	0,670	0,616	0,765
6	30,05%	26,52%	32,43%	0,430	0,361	0,480
7	22,73%	20,51%	21,13%	0,294	0,258	0,268

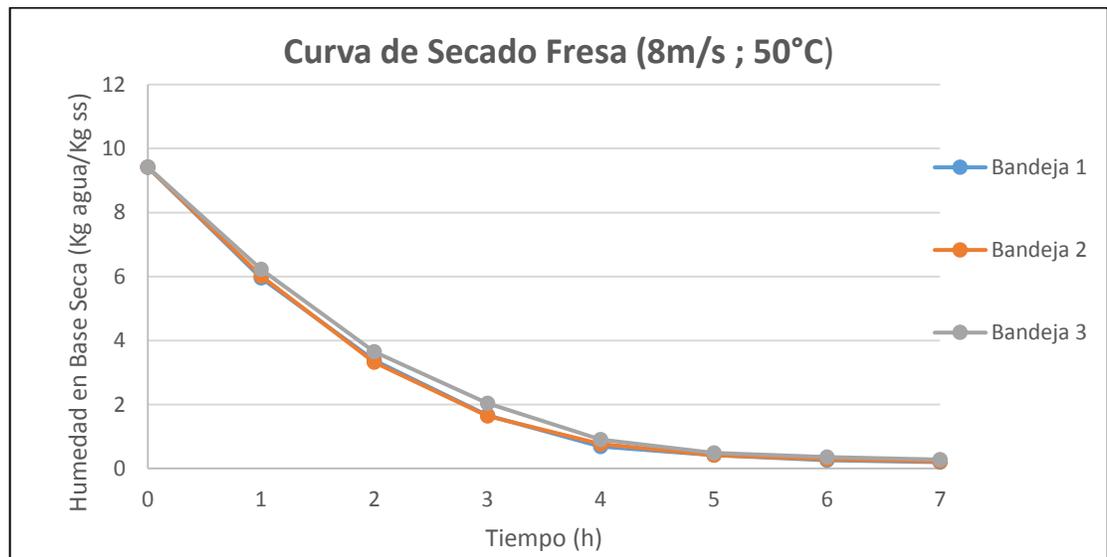
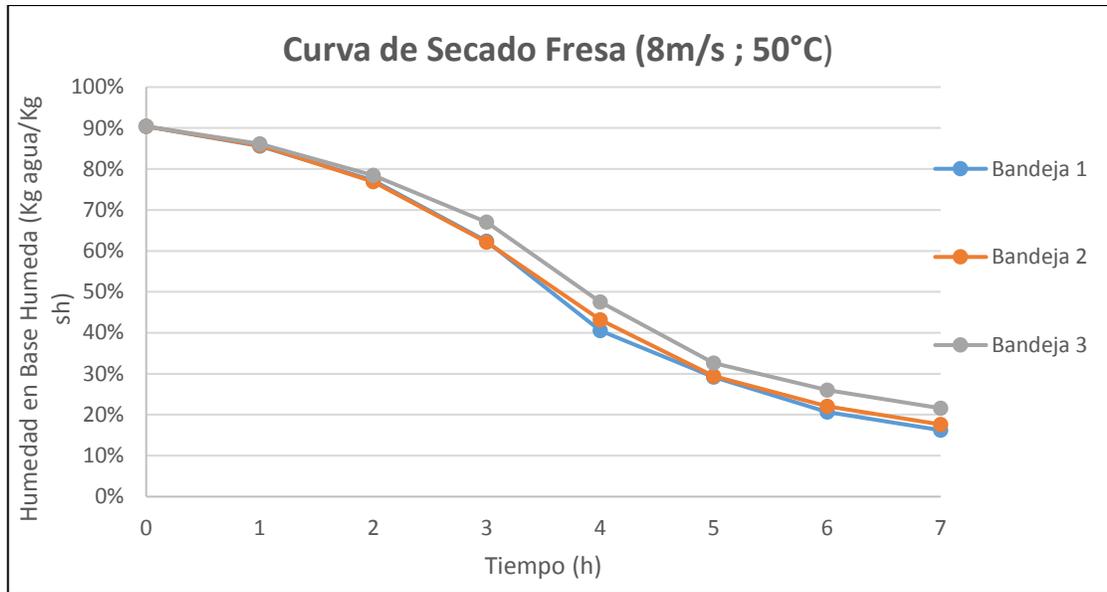


90% de Humedad Relativa, 8m/s, 50°C y  $T_{bh \max}=48,1^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1130,5	1130,8	1302,8	467,00	466,10	466,20
1	975,2	978,8	1160,0	311,70	314,10	323,40
2	860,0	858,2	1044,5	196,50	193,50	207,90
3	782,6	783,0	972,5	119,10	118,30	135,90
4	738,9	743,5	921,9	75,40	78,80	85,30
5	726,8	728,1	903,0	63,30	63,40	66,40
6	720,0	722,1	897,1	56,50	57,40	60,50
7	717,0	719,0	893,7	53,50	54,30	57,10

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	44,83	44,75	44,76	422,17	421,35	421,44
1	44,83	44,75	44,76	266,87	269,35	278,64
2	44,83	44,75	44,76	151,67	148,75	163,14
3	44,83	44,75	44,76	74,27	73,55	91,14
4	44,83	44,75	44,76	30,57	34,05	40,54
5	44,83	44,75	44,76	18,47	18,65	21,64
6	44,83	44,75	44,76	11,67	12,65	15,74
7	44,83	44,75	44,76	8,67	9,55	12,34

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	85,62%	85,75%	86,16%	5,953	6,020	6,226
2	77,18%	76,88%	78,47%	3,383	3,324	3,645
3	62,36%	62,18%	67,07%	1,657	1,644	2,037
4	40,54%	43,22%	47,53%	0,682	0,761	0,906
5	29,18%	29,42%	32,60%	0,412	0,417	0,484
6	20,65%	22,05%	26,02%	0,260	0,283	0,352
7	16,20%	17,60%	21,62%	0,193	0,214	0,276

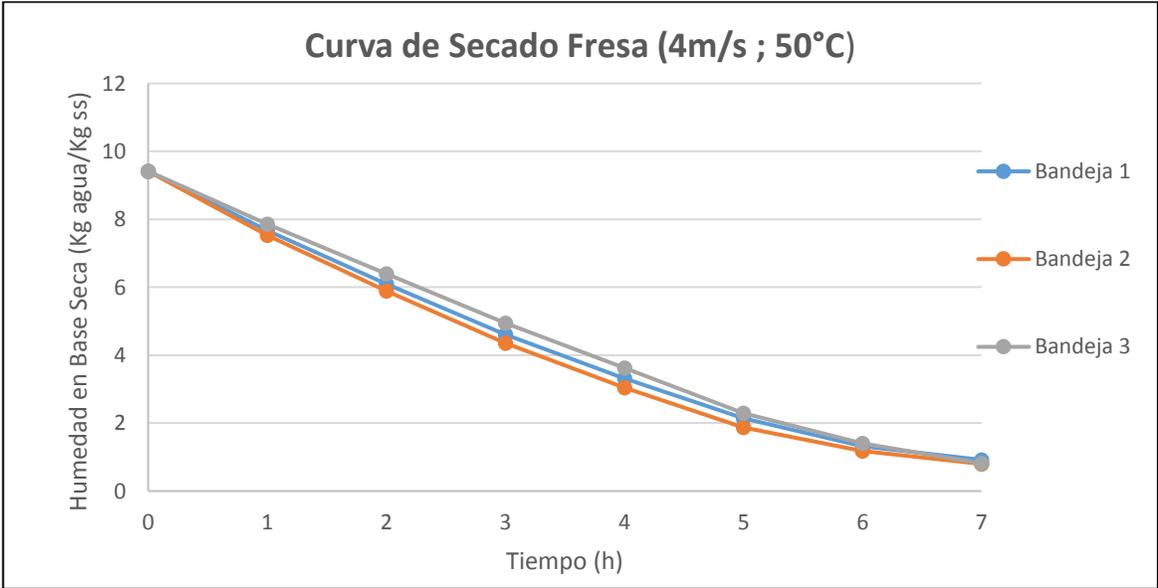
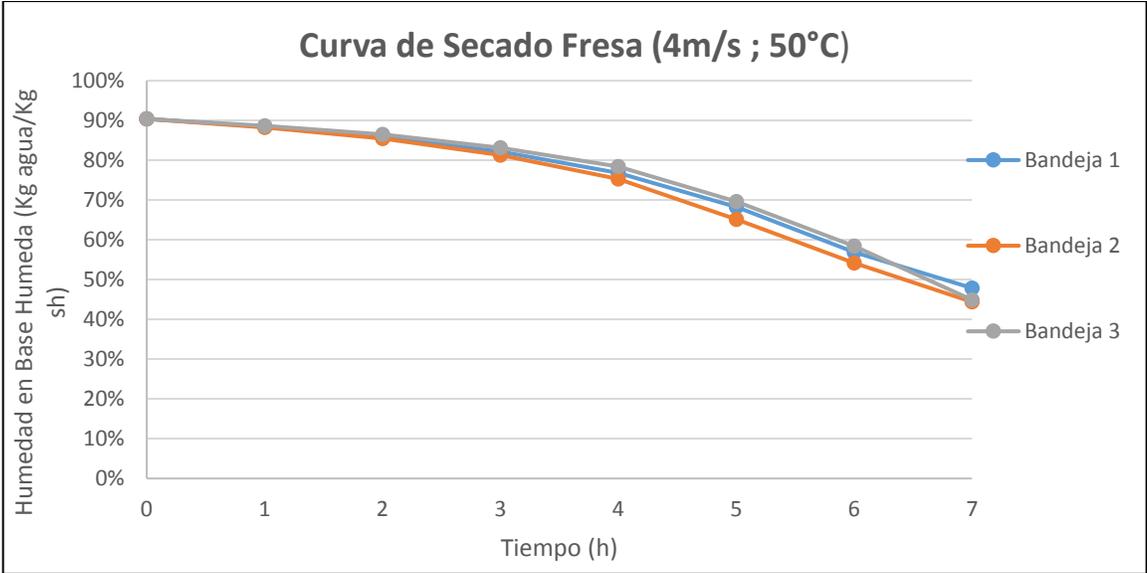


90% de Humedad Relativa, 4m/s, 50°C y  $T_{bh \max}=48,1^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1119,5	1120,4	1291,0	456,00	455,70	454,40
1	1042,9	1038,0	1222,9	379,40	373,30	386,30
2	974,1	966,3	1159,1	310,60	301,60	322,50
3	909,0	899,1	1095,8	245,50	234,40	259,20
4	852,5	841,6	1038,5	189,00	176,90	201,90
5	801,3	790,3	980,2	137,80	125,60	143,60
6	765,0	760,2	941,5	101,50	95,50	104,90
7	747,5	743,4	915,8	84,00	78,70	79,20

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	43,78	43,75	43,62	412,22	411,95	410,78
1	43,78	43,75	43,62	335,62	329,55	342,68
2	43,78	43,75	43,62	266,82	257,85	278,88
3	43,78	43,75	43,62	201,72	190,65	215,58
4	43,78	43,75	43,62	145,22	133,15	158,28
5	43,78	43,75	43,62	94,02	81,85	99,98
6	43,78	43,75	43,62	57,72	51,75	61,28
7	43,78	43,75	43,62	40,22	34,95	35,58

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	88,46%	88,28%	88,71%	7,667	7,533	7,856
2	85,91%	85,49%	86,47%	6,095	5,894	6,393
3	82,17%	81,34%	83,17%	4,608	4,358	4,942
4	76,84%	75,27%	78,39%	3,317	3,044	3,628
5	68,23%	65,17%	69,62%	2,148	1,871	2,292
6	56,87%	54,19%	58,42%	1,319	1,183	1,405
7	47,89%	44,41%	44,92%	0,919	0,799	0,816

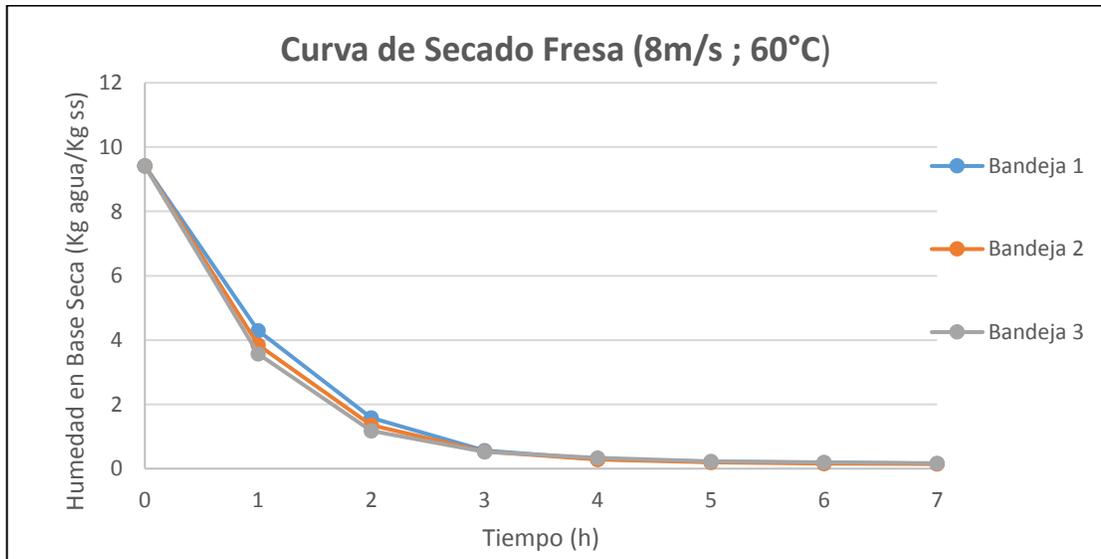
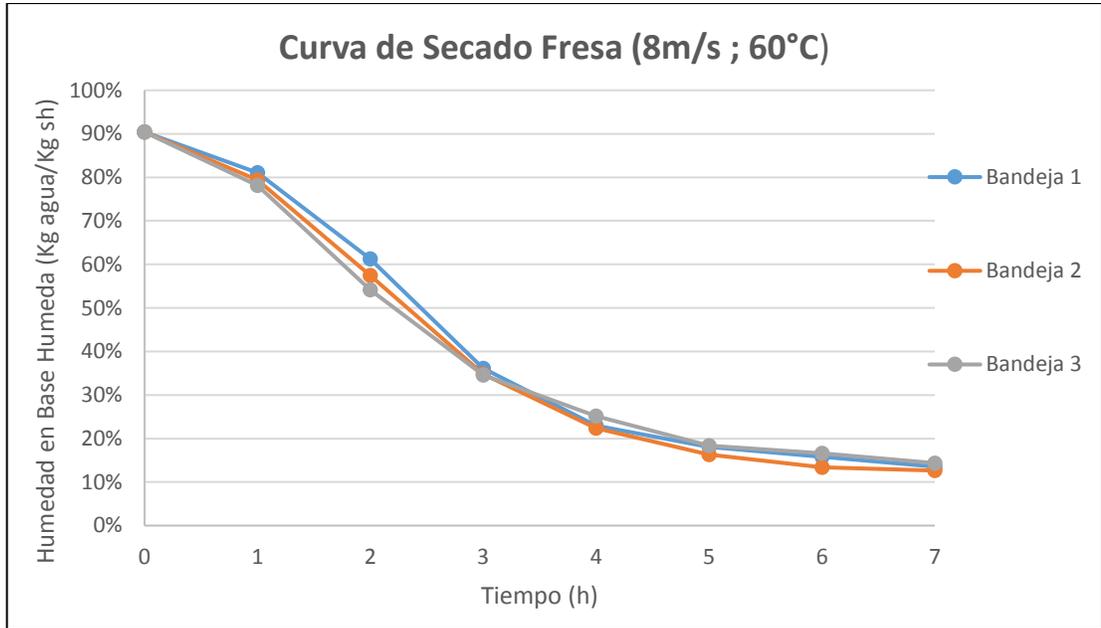


80% de Humedad Relativa, 8m/s, 60°C y  $T_{bh \max}=55,5^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1104,8	1100,6	1270,2	441,30	435,90	433,60
1	887,6	867,4	1027,0	224,10	202,70	190,40
2	772,8	763,1	927,4	109,30	98,40	90,80
3	729,8	728,9	900,2	66,30	64,20	63,60
4	718,5	718,6	892,2	55,00	53,90	55,60
5	715,2	714,7	887,6	51,70	50,00	51,00
6	713,8	713,0	886,5	50,30	48,30	49,90
7	712,5	712,6	885,2	49,00	47,90	48,60

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	42,36	41,85	41,63	398,94	394,05	391,97
1	42,36	41,85	41,63	181,74	160,85	148,77
2	42,36	41,85	41,63	66,94	56,55	49,17
3	42,36	41,85	41,63	23,94	22,35	21,97
4	42,36	41,85	41,63	12,64	12,05	13,97
5	42,36	41,85	41,63	9,34	8,15	9,37
6	42,36	41,85	41,63	7,94	6,45	8,27
7	42,36	41,85	41,63	6,64	6,05	6,97

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	81,10%	79,36%	78,14%	4,290	3,844	3,574
2	61,24%	57,47%	54,16%	1,580	1,351	1,181
3	36,10%	34,82%	34,55%	0,565	0,534	0,528
4	22,97%	22,36%	25,13%	0,298	0,288	0,336
5	18,06%	16,31%	18,38%	0,220	0,195	0,225
6	15,78%	13,36%	16,58%	0,187	0,154	0,199
7	13,54%	12,64%	14,35%	0,157	0,145	0,168

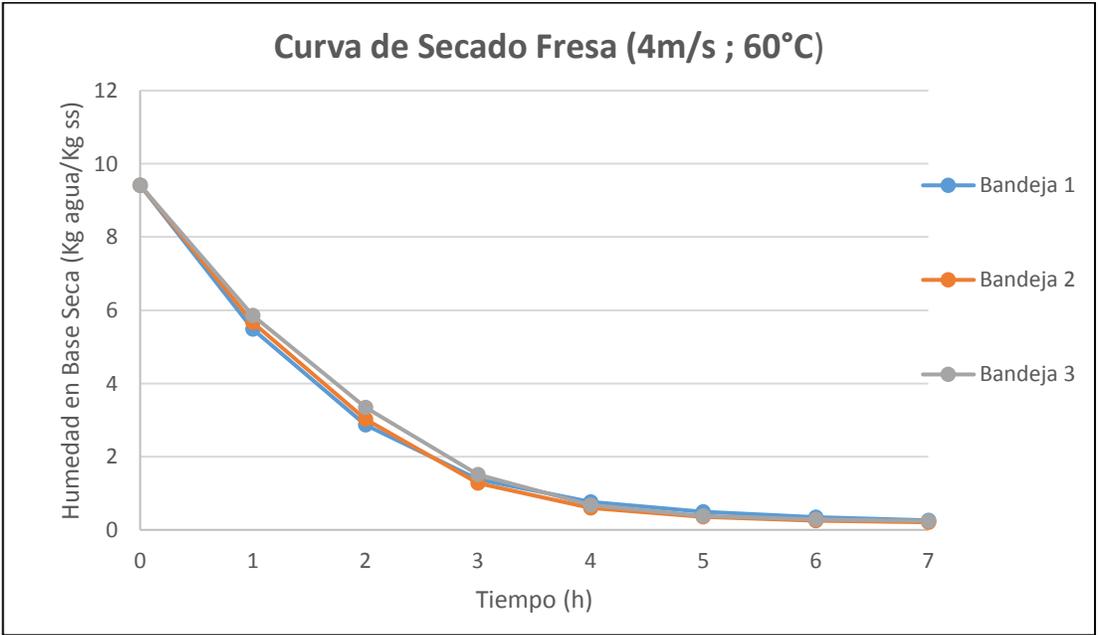
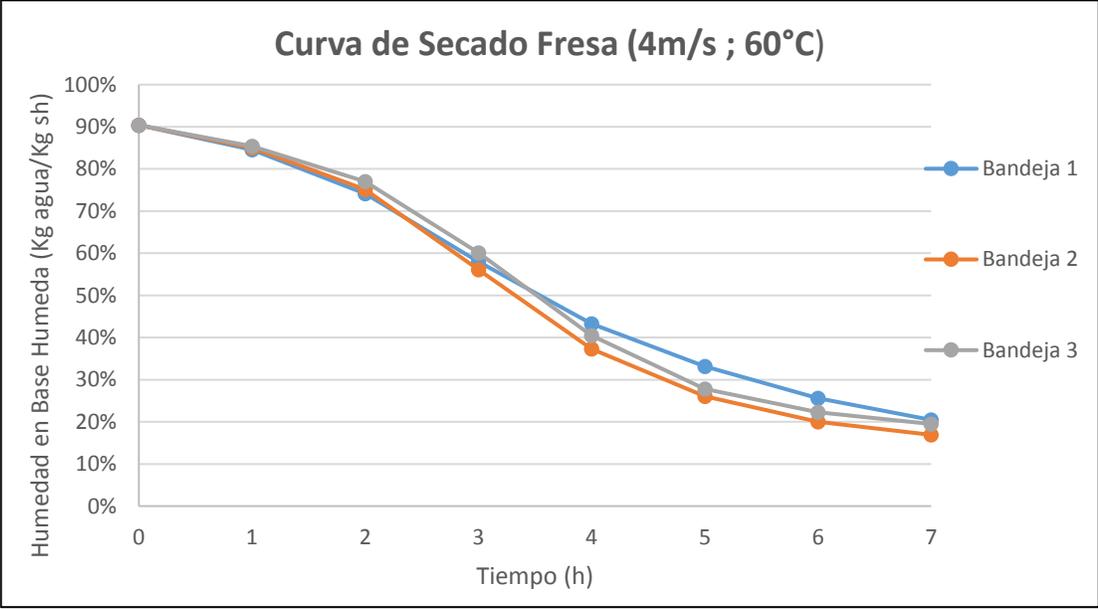


80% de Humedad Relativa, 4m/s, 60°C y  $T_{bh \max}=55,5^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1130,1	1133,6	1303,8	466,60	468,90	467,20
1	954,1	964,9	1144,0	290,60	300,20	307,40
2	836,9	845,7	1031,6	173,40	181,00	195,00
3	770,2	767,3	949,1	106,70	102,60	112,50
4	742,5	736,5	911,9	79,00	71,80	75,30
5	730,5	725,6	898,7	67,00	60,90	62,10
6	723,7	721,0	894,3	60,20	56,30	57,70
7	719,8	718,9	892,3	56,30	54,20	55,70

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	44,79	45,01	44,85	421,81	423,89	422,35
1	44,79	45,01	44,85	245,81	255,19	262,55
2	44,79	45,01	44,85	128,61	135,99	150,15
3	44,79	45,01	44,85	61,91	57,59	67,65
4	44,79	45,01	44,85	34,21	26,79	30,45
5	44,79	45,01	44,85	22,21	15,89	17,25
6	44,79	45,01	44,85	15,41	11,29	12,85
7	44,79	45,01	44,85	11,51	9,19	10,85

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	84,59%	85,01%	85,41%	5,488	5,669	5,854
2	74,17%	75,13%	77,00%	2,871	3,021	3,348
3	58,02%	56,13%	60,13%	1,382	1,279	1,508
4	43,30%	37,31%	40,44%	0,764	0,595	0,679
5	33,14%	26,08%	27,78%	0,496	0,353	0,385
6	25,59%	20,05%	22,27%	0,344	0,251	0,286
7	20,44%	16,95%	19,48%	0,257	0,204	0,242

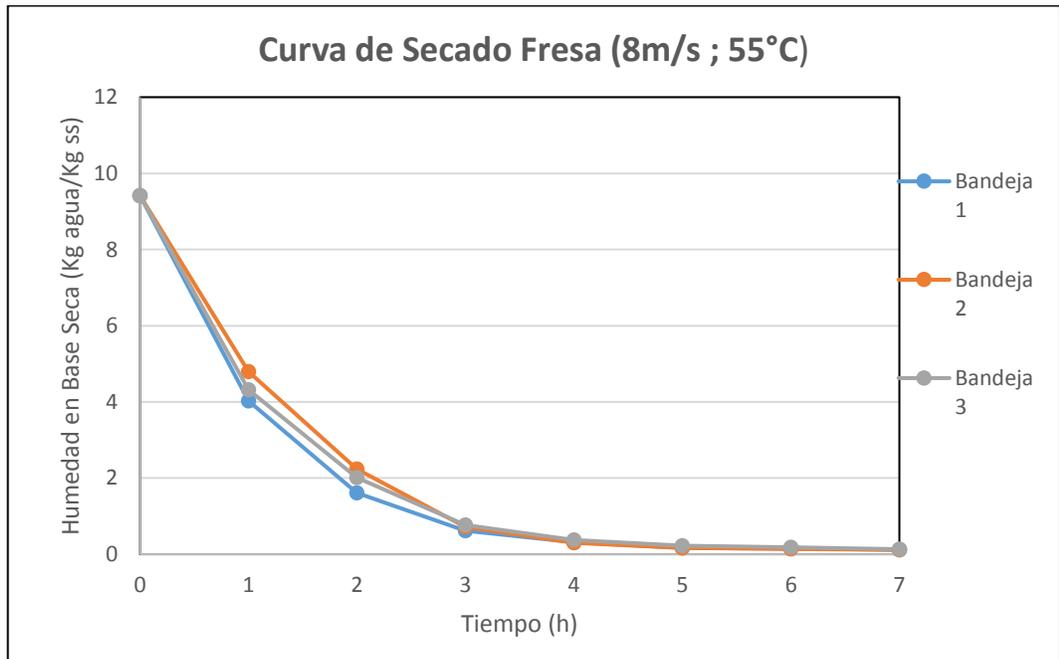
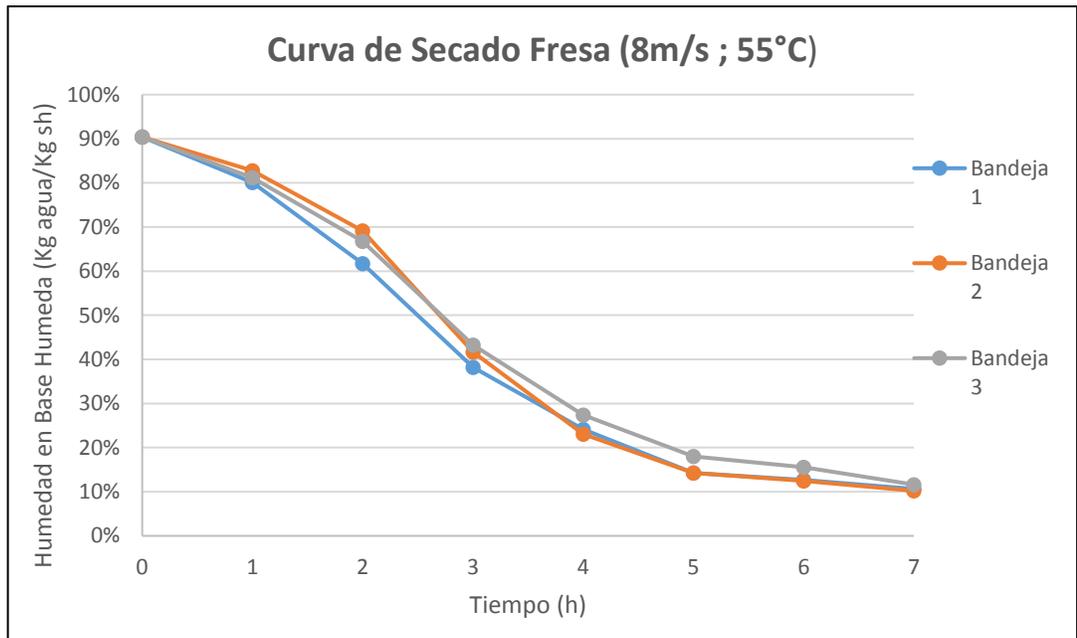


80% de Humedad Relativa, 8m/s, 55°C y  $T_{bh \max}=50,7^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1103,8	1102,4	1273,9	440,30	437,70	437,30
1	875,9	908,1	1059,9	212,40	243,40	223,30
2	773,9	800,8	962,9	110,40	136,10	126,30
3	731,9	736,7	910,6	68,40	72,00	74,00
4	719,2	719,3	894,4	55,70	54,60	57,80
5	712,8	713,7	887,8	49,30	49,00	51,20
6	711,9	712,7	886,3	48,40	48,00	49,70
7	710,8	711,5	884,1	47,30	46,80	47,50

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	42,27	42,02	41,98	398,03	395,68	395,32
1	42,27	42,02	41,98	170,13	201,38	181,32
2	42,27	42,02	41,98	68,13	94,08	84,32
3	42,27	42,02	41,98	26,13	29,98	32,02
4	42,27	42,02	41,98	13,43	12,58	15,82
5	42,27	42,02	41,98	7,03	6,98	9,22
6	42,27	42,02	41,98	6,13	5,98	7,72
7	42,27	42,02	41,98	5,03	4,78	5,52

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	80,10%	82,74%	81,20%	4,025	4,793	4,319
2	61,71%	69,13%	66,76%	1,612	2,239	2,009
3	38,20%	41,64%	43,27%	0,618	0,714	0,763
4	24,11%	23,04%	27,37%	0,318	0,299	0,377
5	14,26%	14,25%	18,01%	0,166	0,166	0,220
6	12,67%	12,46%	15,53%	0,145	0,142	0,184
7	10,64%	10,22%	11,62%	0,119	0,114	0,131

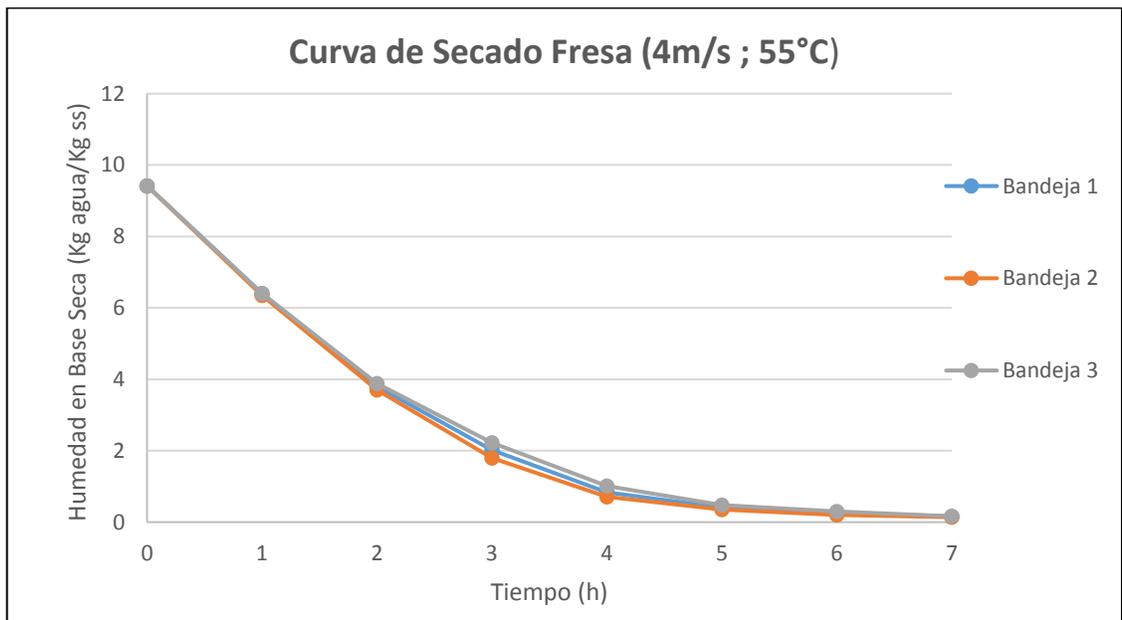
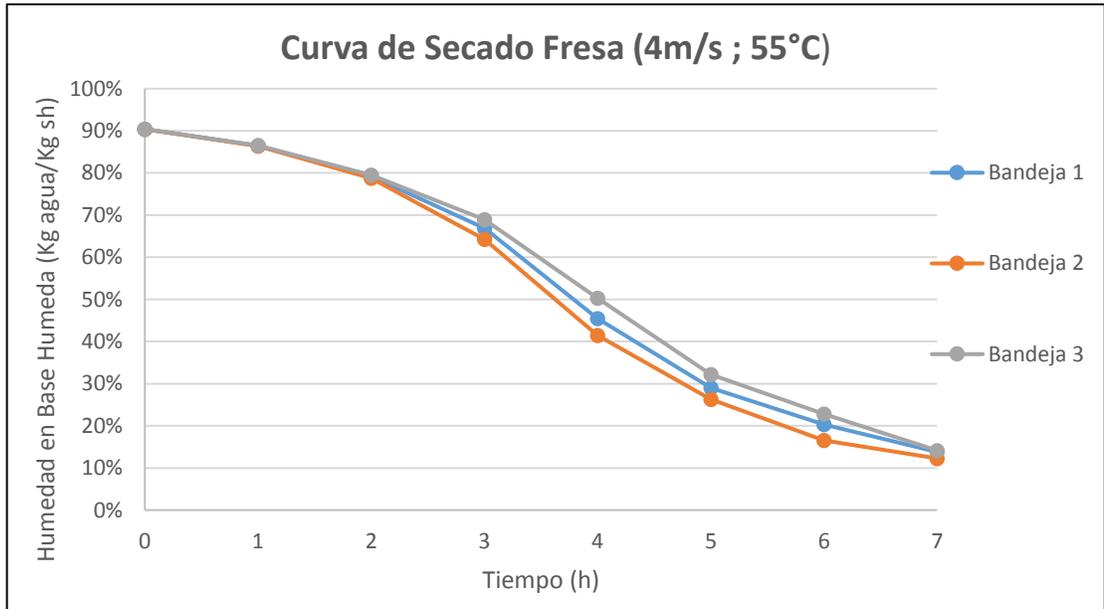


80% de Humedad Relativa, 4m/s, 55°C y  $T_{bh \max}=50,7^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1145,7	1145,4	1324,0	482,20	480,70	487,40
1	1006,1	1003,8	1183,1	342,60	339,10	346,50
2	885,9	881,7	1065,1	222,40	217,00	228,50
3	803,4	793,7	987,4	139,90	129,00	150,80
4	748,4	743,5	930,7	84,90	78,80	94,10
5	728,7	727,3	905,6	65,20	62,60	69,00
6	721,6	720,0	897,2	58,10	55,30	60,60
7	717,2	717,3	891,1	53,70	52,60	54,50

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	46,29	46,15	46,79	435,91	434,55	440,61
1	46,29	46,15	46,79	296,31	292,95	299,71
2	46,29	46,15	46,79	176,11	170,85	181,71
3	46,29	46,15	46,79	93,61	82,85	104,01
4	46,29	46,15	46,79	38,61	32,65	47,31
5	46,29	46,15	46,79	18,91	16,45	22,21
6	46,29	46,15	46,79	11,81	9,15	13,81
7	46,29	46,15	46,79	7,41	6,45	7,71

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	86,49%	86,39%	86,50%	6,401	6,348	6,405
2	79,19%	78,73%	79,52%	3,804	3,702	3,883
3	66,91%	64,23%	68,97%	2,022	1,795	2,223
4	45,48%	41,44%	50,28%	0,834	0,708	1,011
5	29,00%	26,28%	32,19%	0,408	0,357	0,475
6	20,32%	16,55%	22,79%	0,255	0,198	0,295
7	13,80%	12,27%	14,15%	0,160	0,140	0,165

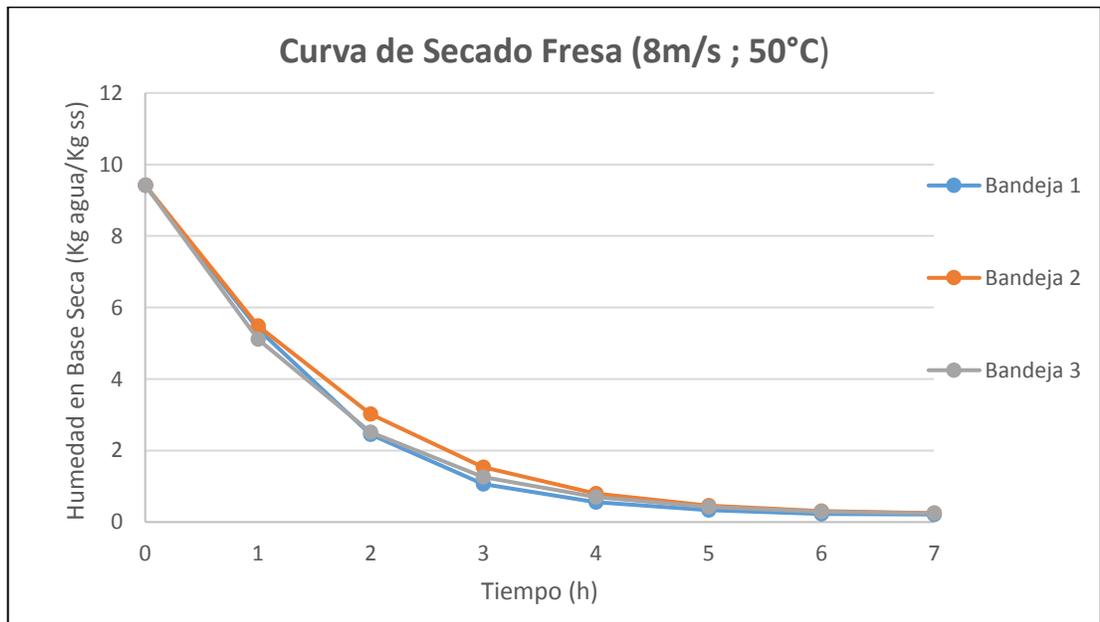
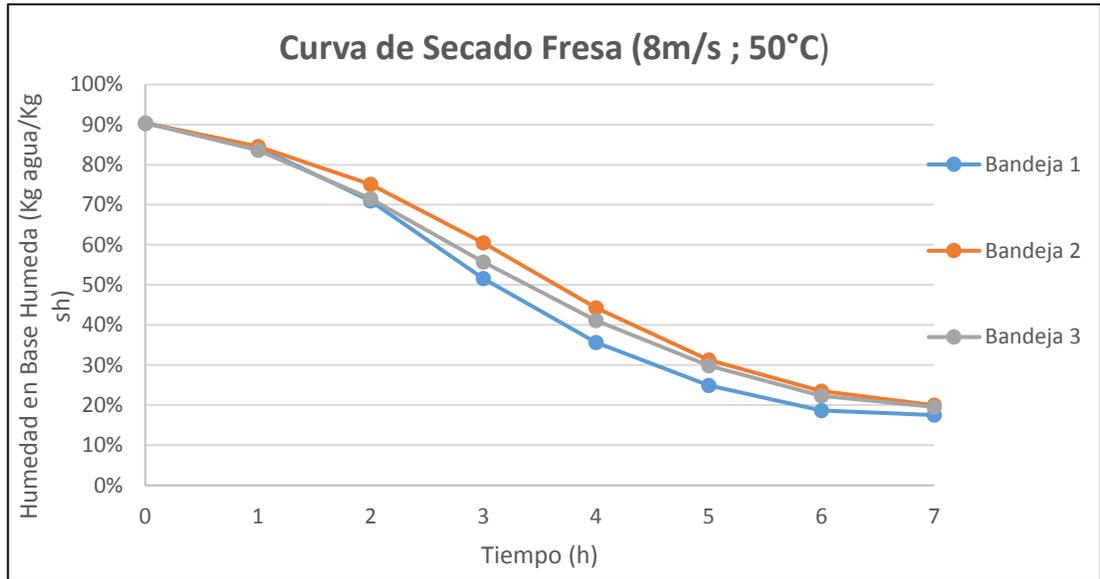


80% de Humedad Relativa, 8m/s, 50°C y  $T_{bh \max}=45,9^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1151,4	1156,4	1308,3	487,90	491,70	471,70
1	962,9	970,7	1113,4	299,40	306,00	276,80
2	825,1	854,3	995,7	161,60	189,60	159,10
3	760,3	784,2	938,9	96,80	119,50	102,30
4	736,3	749,5	913,5	72,80	84,80	76,90
5	725,9	733,4	901,2	62,40	68,70	64,60
6	721,1	726,4	894,9	57,60	61,70	58,30
7	720,3	723,7	892,9	56,80	59,00	56,30

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	46,84	47,20	45,28	441,06	444,50	426,42
1	46,84	47,20	45,28	252,56	258,80	231,52
2	46,84	47,20	45,28	114,76	142,40	113,82
3	46,84	47,20	45,28	49,96	72,30	57,02
4	46,84	47,20	45,28	25,96	37,60	31,62
5	46,84	47,20	45,28	15,56	21,50	19,32
6	46,84	47,20	45,28	10,76	14,50	13,02
7	46,84	47,20	45,28	9,96	11,80	11,02

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	84,36%	84,57%	83,64%	5,392	5,483	5,113
2	71,02%	75,10%	71,54%	2,450	3,017	2,513
3	51,61%	60,50%	55,73%	1,067	1,532	1,259
4	35,66%	44,34%	41,11%	0,554	0,796	0,698
5	24,94%	31,29%	29,90%	0,332	0,455	0,427
6	18,68%	23,50%	22,33%	0,230	0,307	0,287
7	17,54%	19,99%	19,57%	0,213	0,250	0,243

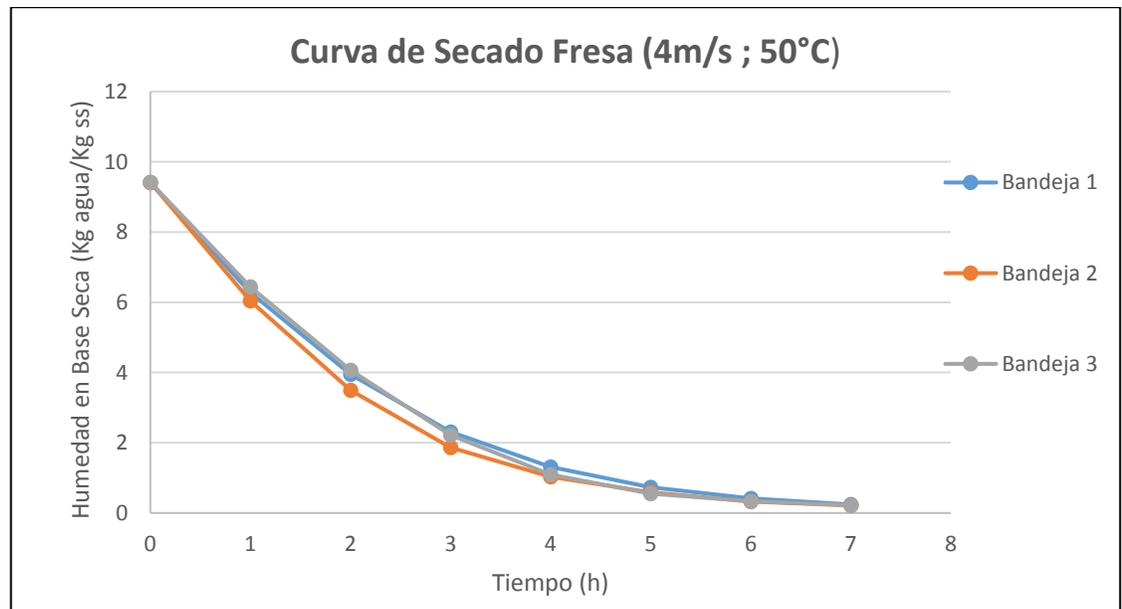
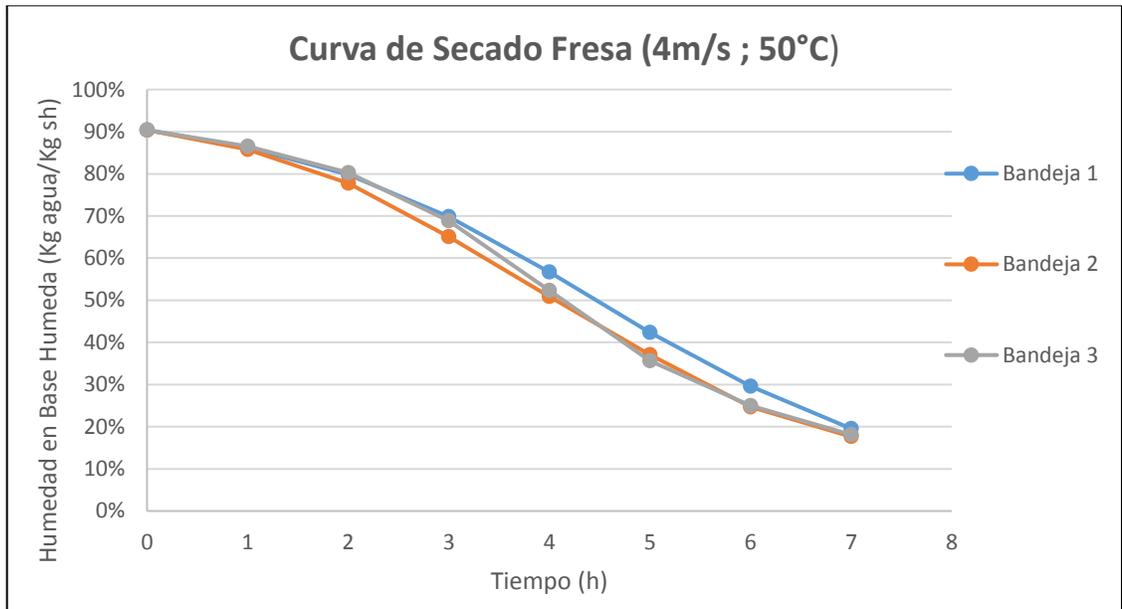


80% de Humedad Relativa, 4m/s, 50°C y  $T_{bh \max}=45,9^{\circ}\text{C}$

Tiempo (h)	Masa Bandejas + Fruta (g)			Masa fruta (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	1115,2	1112,5	1289,6	451,70	447,80	453,00
1	979,2	967,6	1160,3	315,70	302,90	323,70
2	878,2	858,2	1056,9	214,70	193,50	220,30
3	807,2	787,9	976,4	143,70	123,20	139,80
4	763,7	752,2	927,9	100,20	87,50	91,30
5	738,7	733,0	904,2	75,20	68,30	67,60
6	725,1	721,8	894,6	61,60	57,10	58,00
7	717,4	716,9	889,7	53,90	52,20	53,10

Tiempo (h)	Contenido Fibra (g)			Contenido de Agua (g)		
	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)
0	43,36	42,99	43,49	408,34	404,81	409,51
1	43,36	42,99	43,49	272,34	259,91	280,21
2	43,36	42,99	43,49	171,34	150,51	176,81
3	43,36	42,99	43,49	100,34	80,21	96,31
4	43,36	42,99	43,49	56,84	44,51	47,81
5	43,36	42,99	43,49	31,84	25,31	24,11
6	43,36	42,99	43,49	18,24	14,11	14,51
7	43,36	42,99	43,49	10,54	9,21	9,61

Tiempo (h)	Humedad en Base Humedad (Kg agua/Kg sh)			Humedad en Base Seca (Kg agua/Kg ss)		
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
0	90,40%	90,40%	90,40%	9,417	9,417	9,417
1	86,26%	85,81%	86,57%	6,280	6,046	6,443
2	79,80%	77,78%	80,26%	3,951	3,501	4,066
3	69,82%	65,11%	68,89%	2,314	1,866	2,215
4	56,72%	50,87%	52,37%	1,311	1,035	1,099
5	42,34%	37,06%	35,67%	0,734	0,589	0,554
6	29,61%	24,71%	25,02%	0,421	0,328	0,334
7	19,55%	17,65%	18,10%	0,243	0,214	0,221



ANEXO F  
PRUEBAS DE LABORATORIO FRESA DESHIDRATADA

INFORME DE RESULTADOS N°:		9444	
CLIENTE:	LUIS DAVID SANTANA "ECOVITALE ORGANICO"	FECHA FABRICACIÓN:	10/05/2016
NIT:	79986878-8	FECHA VENCIMIENTO:	10/07/2016
TELÉFONO:	2952025	CANTIDAD (g/mL):	88gr
CONTACTO:	LUIS DAVID SANTANA	FECHA DE MUESTREO:	12/05/2016
CARGO:	N.E.	FECHA DE RECEPCIÓN:	12/05/2016
DIRECCIÓN:	CALL 2 BIS #72B-21	TIPO DE EMPAQUE:	PLASTICO
CIUDAD:	BOGOTA	PUNTO DE CAPTACIÓN/	Orden de servicio cliente:
ID. MUESTRA:	16-2612	ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis PQ: 15 días
ODS:	16-965		Análisis MB: 24 horas

Fisicoquímica						
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	INVIMA Fruta Deshidratada
18/05/2016	Vitamina C / Ácido ascórbico	182	mg/100g	Titulométrico-Diclorofenol-Indófenol	AOAC 967.21	N.E.
18/05/2016	Grados Brix (°Bx)	73,1	°Bx	Refractometer Method	AOAC 992.12	N.E.
18/05/2016	Humedad	14,9	g/100g	Secado a 105°C-Gravimétrico	AOAC 934.01	N.E.

\* Análisis subcontratados

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada en el Laboratorio de Fisicoquímica de Biopolab.  
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónica o al correo e inmediatamente será atendida.  
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:

*J Muñoz Torres*

Javier Eduardo Muñoz Torres  
Director Técnico Alimentos  
P. Químico de Alimentos. Matriculación Profesional PQA-495

Fecha de expedición: 20/05/2016

ANEXO G  
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

No. de Depósito

Descripción

Precio Lista  
Unit. - Col. \$(\*)

¡Su motor es muy valioso!

Protéjalo únicamente con productos Siemens:



SINAMICS  
MICROMASTER

Ver páginas 3/2 a 4/15



Referencia	Tamaño Constructivo	Potencia		Eficiencia $\eta$ %	FS	Corriente (A)		Peso Kg	Precio	
		HP	KW			220V	440V			
<b>VELOCIDAD 1.800 RPM (4 polos)</b>										
100138697	1LA7 070-4YC60	71	0,4	0,3	63,3	1,05	1,6	0,8	5	373.800
100138698	1LA7 070-4YA60	71	0,5	0,4	63,6	1,15	1,9	0,9	5	389.700
100138699	1LA7 071-4YA60	71	0,6	0,4	70,2	1,15	2,2	1,1	6	408.000
100138700	1LA7 073-4YA60	71	0,75	0,6	64,0	1,15	2,9	1,4	6	441.300
100138701	1LA7 080-4YA60	80	1	0,7	64,2	1,15	3,5	1,7	8	482.600
100138702	1LA7 081-4YA60	80	1,2	0,9	69,0	1,05	4,0	2,0	9	542.800
100138703	1LA7 083-4YA60	80	1,5	1,1	65,9	1,15	5,0	2,5	9	658.000
100139634	1LA7 096-4YB60	90 L	2	1,5	82,3	1,15	6,6	3,3	15	758.000
100139635	1LA7 096-4YC60	90 L	2,4	1,8	81,5	1,15	7,4	3,7	15	841.200
100139636	1LA7 097-4YB60	90 L	3	2,2	83,0	1,15	8,6	4,3	16	896.900
100139620	1LA7 112-4YB60	112 M	4	3,0	85,5	1,15	12,2	6,1	25	998.000
100139621	1LA7 112-4YC60	112 M	5	3,7	85,3	1,15	15,8	7,9	25	1.123.000
100139622	1LA7 114-4YB60	112 M	6	4,5	85,7	1,05	18,0	9,0	28	1.304.000
100138709	1LA7 113-4YA60	112 M	6,6	4,9	78,0	1,05	19,6	9,8	29	1.400.000
100139623	1LA7 115-4YB60	112 M	7,5	5,6	87,5	1,15	20,0	10,0	30	1.500.000
100139642	1LA7 132-4YB70	132 S/M	10	7,5	88,3	1,15	24,4	12,2	52	1.798.000
100139643	1LA7 132-4YC70	132 S/M	12	9,0	88,1	1,15	34,0	17,0	52	2.044.000
100139644	1LA7 135-4YB70	132 S/M	15	11,2	89,8	1,15	43,0	21,5	61	2.161.000
100139651	1LA7 164-4YB70	160 M/L	20	14,9	90,9	1,15	55,6	27,8	79	3.269.000
100139652	1LA7 167-4YB70	160 M/L	25	18,7	91,8	1,15	66,0	33,0	89	4.016.000
100139658	1LA5 183-4YB80	180 M/L	30	22,4	91,8	1,05	78,0	39,0	130	4.851.000
100139659	1LA5 186-4YB80	180 M/L	36	26,9	92,1	1,05	93,0	46,5	140	5.419.000
100139660	1LA5 187-4YB80	180 M/L	40	29,8	92,5	1,05	104,0	52,0	140	6.681.000
100139664	1LA5 207-4YB80	200 L	50	37,3	92,5	1,15	126,0	63,0	191	7.567.000

# MOTORES TRIFÁSICOS DE PROPÓSITO GENERAL EFICIENCIA ESTÁNDAR IE1, IP55 (TEFC)

Feb. 1/



## Motores trifásicos estándar de la serie 1LA7 y 1LA5. IP55

### Generalidades

Nuestro amplio conocimiento técnico, que tiene en el mundo más de 150 años de experiencia consolidada, dan como resultado un motor preparado para el futuro: diseño universal y ventajas técnicas. Nuestros motores cumplen con las exigentes demandas técnicas del mercado, demostrando, una vez más, nuestro liderazgo a nivel mundial.

Gracias a su carcasa en Aluminio se asegura una excelente conductividad térmica y un bajo peso. Su diseño permite que operen a dos tensiones y que su arranque se realice ya sea directamente, en estrella triángulo (A partir del tamaño AH 132), con arrancador suave o con variador de velocidad lo cual posibilita su aplicación en la totalidad de condiciones disponibles. Con el fin de darle aún más tranquilidad a su usuario, toda la familia cuenta con 1 año de garantía y el respaldo de nuestra red de distribuidores y talleres autorizados.

### Características Eléctricas:

- Eficiencia IE1 hasta tamaño constructivo 225 (Norma IEC 60034-30)
- Tensiones conmutables 220 / 440 V a 60 Hz.
- Posibilidad de arranque directo en todos los tamaños constructivos. Adicionalmente arranque Y - Δ a partir del tamaño 132.
- Clase térmica F - Impregnación al vacío, tecnología VPI
- Tipo de servicio: S1
- Factor de servicio (FS): entre 1.05 a 1.15.
- Temperatura de operación: -15/40°C
- Aptos para ser accionados con variador de velocidad

### Características Mecánicas:

- Carcasa en Aluminio que asegura su bajo peso y excelente conductividad térmica.
- Rodamientos tipo rígidos de bola, de doble sello y con juego interno C3. Totalmente cerrados y libres de mantenimiento. Con una vida útil de hasta 20.000 horas de servicio continuo.
- Ejecución IMB3 / IMB35 / IMB5
- Con retenedor CD Ring en el platillo AS
- Protección Mecánica IP55
- Para la serie 1LA7 platillos en aluminio y 1LA5 con platillos en fundición
- Pintura RAL 7012

### Accesorios bajo pedido:

- Termistores
- Bandas Calefactoras
- Tensión de Alimentación fuera del estándar

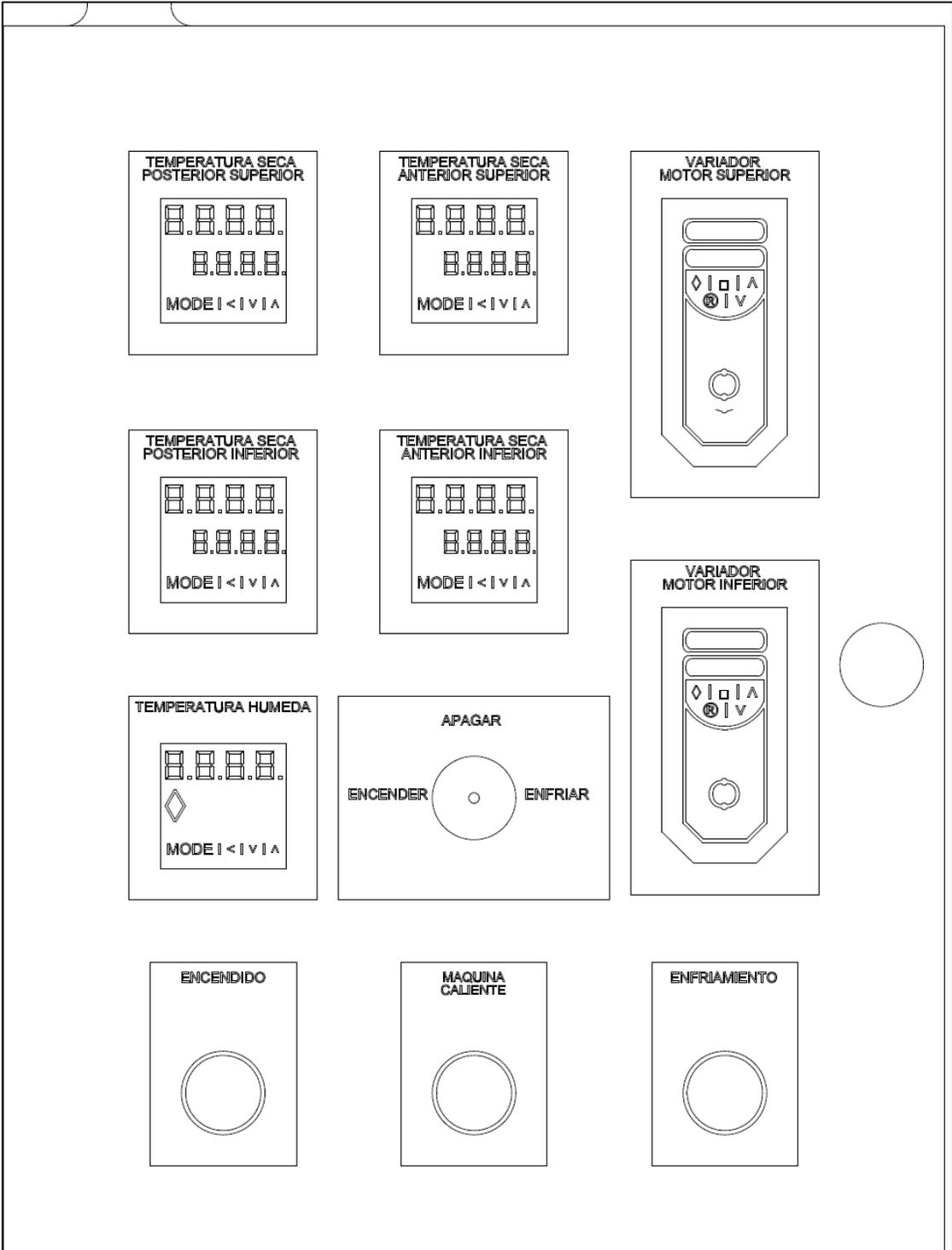
### Beneficios adicionales:

- Garantía extendida por la compra de un combo "Motor + Variador", 3 años de garantía sin costo adicional.
- Red de talleres a lo largo del país (ver página al final del capítulo)
- Soporte técnico directo a través de HotLine Técnica 01 8000 51 88 84
- Cumple RETIE e ISO 9000 versión 2000 en Colombia
- Cursos de entrenamiento especializados SITRAIN (ver página 9/2)
- Contratos de mantenimiento de su base instalada de motores.

(\*) El Precio Lista no incluye IVA vigente - Precios sujetos a cambio sin previo aviso



ANEXO H  
CAJA DE CONTROL DEL DESHIDRATADOR



ANEXO I  
MANUAL DE OPERACIÓN DEL DESHIDRATADOR

## Manual de operación del deshidratador

### Procedimiento para el uso

1. Antes de encender la maquina se debe verificar que los trapos que cubren las termocuplas, se encuentren húmedas. Verificar que los termopozos contengan suficiente agua para humedecer los trapos.
2. Limpiar cada bandeja para remover la suciedad presente.
3. Pesar las bandejas con y sin fruta para conocer la cantidad que se deshidratara por bandeja.
4. Encender la máquina y establecer en los controladores las condiciones de temperatura de aire y la temperatura de bulbo húmedo a trabajar.

Temperatura del aire (°C)	Temperatura de bulbo húmedo máxima (°C)	Frecuencia en el variador para 8 m/s (Hz)
55	50,7	75

5. Esperar 15 minutos para estabilizar las condiciones dentro del equipo.
6. Introducir las bandejas con la fresa.
7. Dejar las bandejas dentro del equipo por 5 horas.
8. Retirar las bandejas del deshidratador.
9. Dejar enfriar por 2 minutos.
10. Retirar el producto de las bandejas.
11. Pesar la cantidad de fresa deshidratada para cada bandeja.
12. Empacarlo.

### Recomendaciones:

1. Para garantizar la homogeneidad del producto, se recomienda cortar las rodajas del mismo espesor (de 5 a 8 mm aproximadamente).
2. Agregar aceite vegetal para evitar que las rodajas de fruta se peguen en las bandejas, ayudando a su remoción, en caso de que se peguen, realizar una limpieza adecuada de cada bandeja, antes de comenzar a operar.

3. Verificar constantemente las lecturas del controlador para la corrección de temperatura de ser necesario.
4. Realizar mantenimiento al motor cada 6 meses por sugerencia del fabricante del motor
5. Lavar antes de cada proceso los trapos que cubren las termocuplas para remover impurezas que adhieran para no obtener lecturas erróneas.
6. Tener precaución al finalizar el proceso y retirar las bandejas, debido a que estas se encuentran a una alta temperatura.

ANEXO J  
PLANOS