



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (Variedad Cavendish) A NIVEL  
LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN**

**Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (Variedad Cavendish) A NIVEL  
LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RONALD ALEJANDRO GAITÁN SANTA CRUZ**  
ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

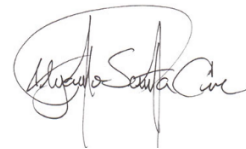
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (Variedad Cavendish) A NIVEL LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2013.



**Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz**





Guatemala, 14 de abril de 2015

Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Facultad de Ingeniería  
Director Escuela de Ingeniería Química

De manera atenta me dirijo a usted para manifestarle que el estudiante Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz con carnet 2005 12182, realizó el Informe Final de Trabajo de Graduación, titulado: "ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (Variedad Cavendish) A NIVEL LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN", el cual ha sido revisado y analizado por mi persona y cumple con los requerimientos correspondientes, de tal manera apruebo y firmo el presente documento para todos los trámites exigidos por las leyes y estatutos de la universidad para que pueda realizar la defensa del mismo.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente.

Inga. Hilda Piedad Palma Ramos  
Colegiado No. 453  
Profesora Titular VI  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
**COLEGIADO No. 453**

Guatemala, 24 de septiembre de 2015.

Ref. EIQ.TG-IF.065.2015.

Ingeniero  
**Victor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **114-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

#### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz**,  
Identificado con número de carné: **2005-12182**,  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

#### ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (Variedad Cavendish) A NIVEL LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martíni**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. **Otto Raúl de León de Paz**  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



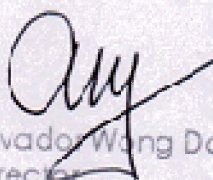
C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.009.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de el estudiante, **RONALD ALEJANDRO GAITÁN SANTA CRUZ** titulado: "ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (VARIEDAD CAVENDISH) A NIVEL LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN". Procede a la autoización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Salvador Wang Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2016

Cc: Archivo  
CSWB/ds





Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.113.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE HARINA DE BANANO VERDE (VARIEDAD CAVENDISH) A NIVEL LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA GALLETA LIBRE DE GLUTEN**, presentado por el estudiante universitario: **Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Pedro Antonio Aguilar Pelanco  
Decano



Guatemala, marzo 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi guía e inspiración, darme fuerza y esperanza aún en los momentos más difíciles.
<b>Jesucristo</b>	Por haber dado su vida por mí.
<b>Espíritu Santo</b>	Por acompañarme y guiarme siempre, en los buenos y malos momentos.
<b>Mi madre</b>	Irene América Santa Cruz, por ser un apoyo incondicional para mí, darme un buen ejemplo con su actitud intachable, mostrando siempre una actitud de honestidad y altruismo.
<b>Mi abuela</b>	Catalina Alvizurez Paz, por educarme, ser mi segunda madre y ser un ejemplo para mí y toda mi familia.
<b>Mi hermano</b>	Allan Dennis Santa Cruz, por apoyarme en los buenos y malos momentos, sus consejos y enseñanzas.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Hilda Piedad Palma, por su apoyo, paciencia y guía durante el estudio.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios, permitirme desarrollarme profesionalmente.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por convertirme en mi segundo hogar durante varios años, por las enseñanzas obtenidas.
<b>LIEXVE</b>	Por brindarme el equipo y espacio necesarios para desarrollar este estudio.
<b>Mis amigos</b>	Juan José Molina, Danilo Hernández y Carlos Alvarez, María Avendaño y Rodolfo Castro, por su amistad y compañerismo.
<b>William Villegas</b>	Por ser un gran amigo, aconsejarme y apoyarme durante toda la carrera.
<b>Inga. Cynthia Ortiz</b>	Por sus enseñanzas, su tiempo y apoyo.
<b>Ing. Mario Mérida</b>	Por sus enseñanzas y su tiempo, por permitirme realizar mis prácticas y este estudio en LIEXVE.
<b>Inga. Hilda Piedad Palma</b>	Por su apoyo y sus consejos durante la elaboración del proyecto.

**Mis compañeros**

Por su amistad y compañerismo durante toda la carrera, por los momentos compartidos y los recuerdos.

**Mi tía Dalila Irene  
Santa Cruz**

Por su apoyo y su cariño, por sus palabras de ánimo y su ayuda.

**Lic. Carlos Morales**

Por servirme como ejemplo y brindarme su apoyo durante toda la carrera.

**Fredy Monroy**

Por su amistad y estar siempre dispuesto a brindarme su ayuda.

**Mis primos(as)**

Por estar siempre que los necesité, la alegrías compartidas, el cariño y amistad.

**Enrique Santa Cruz**

Por sus consejos y su apoyo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Generalidades del banano.....	3
2.2. Usos del banano.....	3
2.3. Beneficios del consumo de banano .....	4
2.4. Variedades importantes.....	5
2.5. Secado de alimentos .....	6
2.5.1. Eliminación de agua por vía mecánica .....	7
2.5.2. Eliminación de agua por vía térmica.....	7
2.5.3. Proceso de secado .....	9
2.5.4. Curvas y períodos de secado .....	11
2.5.5. Preparación de los productos para el secado.....	16
2.5.6. Envasado y almacenamiento del producto deshidratado .....	17
2.6. Sistemas de deshidratación.....	18
2.6.1. Secador de bandejas.....	20
2.7. Reducción de tamaño.....	23



2.7.1.	Molino de disco .....	24
2.7.2.	Tamizador .....	24
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables .....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	27
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.4.1.	Infraestructura .....	29
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa .....	30
3.5.1.	Técnica cuantitativa.....	30
3.5.2.	Técnica cualitativa.....	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	31
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	34
3.7.1.	Medición de masa .....	34
3.7.2.	Medición de contenido de humedad.....	36
3.7.3.	Medición de la masa de harina obtenida.....	36
3.7.4.	Escala hedónica .....	36
3.7.5.	Análisis proximal .....	36
3.7.6.	Procesamiento de los datos .....	37
3.8.	Análisis estadístico.....	37
3.8.1.	Orden de los datos .....	37
3.8.2.	Procesamiento de los datos .....	38
3.8.3.	Resultados e interpretación del análisis de varianza de un factor.....	40
3.8.4.	Análisis de la hipótesis .....	43
3.8.5.	Prueba de Tukey .....	44

4.	RESULTADOS .....	47
4.1.	Gráficas lote 1, rodajas de 7 mm de ancho .....	47
4.2.	Gráficas lote 2, rodajas de 5 mm de espesor .....	62
4.3.	Gráficas lote 3, rodajas de 3 mm de espesor .....	77
4.4.	Tiempos de secado .....	92
4.5.	Velocidad de secado .....	93
4.6.	Valores promedio.....	96
4.7.	Rendimiento de la harina.....	98
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	99
5.1.	Períodos de secado.....	100
5.1.1.	Período de calentamiento.....	100
5.1.2.	Período de velocidad constante.....	101
5.1.3.	Primer período de velocidad decreciente .....	101
5.1.4.	Segundo período de velocidad decreciente.....	102
5.2.	Curvas de secado lote 1 .....	102
5.3.	Curvas de secado lote 2 .....	103
5.4.	Curvas de secado lote 3 .....	104
5.5.	Tiempos y velocidades de secado por bandeja .....	105
5.6.	Humedad crítica vs. humedad de equilibrio.....	105
5.7.	Rendimiento de la harina.....	106
5.8.	Análisis de varianza.....	107
5.9.	Análisis proximal.....	107
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES .....	113
	BIBLIOGRAFÍA .....	115
	APÉNDICES .....	117
	ANEXOS .....	173



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Grado de maduración del banano .....	6
2.	Curva de secado contenido de humedad vs. tiempo.....	12
3.	Curva de secado velocidad de secado vs. tiempo .....	13
4.	Influencia de la temperatura del aire de secado.....	14
5.	Curva de secado velocidad de secado vs. contenido de humedad.....	16
6.	Secador de bandejas .....	21
7.	Evaluación sensorial de la galleta con base en una escala hedónica..	33
8.	Análisis de datos .....	38
9.	Selección de análisis.....	39
10.	Selección de parámetros.....	39
11.	7mm, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	47
12.	7 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo .....	47
13.	7 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	48
14.	7 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	48
15.	7 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo .....	49
16.	7 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	49
17.	7 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	50
18.	7 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo .....	50

19.	7 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	51
20.	7 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	51
21.	7 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo.....	52
22.	7 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	52
23.	7 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	53
24.	7 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo.....	53
25.	7 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	54
26.	7 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	54
27.	7 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo.....	55
28.	7 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	55
29.	7 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	56
30.	7 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo.....	56
31.	7 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	57
32.	7 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	57
33.	7 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo.....	58
34.	7 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	58
35.	7 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	59

36.	7 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo .....	59
37.	7 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	60
38.	7 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	60
39.	7 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo .....	61
40.	7 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	61
41.	5 mm de espesor, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	62
42.	5 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo .....	62
43.	5 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	63
44.	5 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	63
45.	5 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo .....	64
46.	5 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	64
47.	5 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	65
48.	5 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo .....	65
49.	5 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	66
50.	5 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	66
51.	5 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo .....	67
52.	5 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	67

53.	5 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	68
54.	5 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo.....	68
55.	5 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	69
56.	5 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	69
57.	5 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo.....	70
58.	5 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	70
59.	5 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	71
60.	5 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo.....	71
61.	5 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	72
62.	5 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	72
63.	5 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo.....	73
64.	5 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	73
65.	5 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	74
66.	5 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo.....	74
67.	5 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	75
68.	5 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	75
69.	5 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo.....	76

70.	5 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	76
71.	3 mm de espesor, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	77
72.	3 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo .....	77
73.	3 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	78
74.	3 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	78
75.	3 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo .....	79
76.	3 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	79
77.	3 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	80
78.	3 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo .....	80
79.	3 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	81
80.	3 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	81
81.	3 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo .....	82
82.	3 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	82
83.	3 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	83
84.	3 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo .....	83
85.	3 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca .....	84
86.	3 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo .....	84



87.	3 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo.....	85
88.	3 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	85
89.	3 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	86
90.	3 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo.....	86
91.	3 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	87
92.	3 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	87
93.	3 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo.....	88
94.	3 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	88
95.	3 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	89
96.	3 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo.....	89
97.	3 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	90
98.	3 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo.....	90
99.	3 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo.....	91
100.	3 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca.....	91
101.	Tiempos de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C.....	92
102.	Tiempos de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C.....	92
103.	Tiempos de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 3 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C.....	93

104.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	93
105.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	94
106.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	94
107.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 3 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	95
108.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	95
109.	Velocidad de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	96
110.	Tiempos de secado promedio para cada grosor de rodaja a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	96
111.	Velocidad de secado promedio en el punto crítico para cada grosor de rodaja a una temperatura de bulbo seco de 40 °C .....	97
112.	Contenido de humedad crítico promedio y contenido de humedad de equilibrio promedio a 40 °C .....	97

## **TABLAS**

I.	Composición nutricional de una banana de 100 gramos.....	5
II.	Tipos de secadores según materia a secar.....	20
III.	Tabla de recolección de datos durante cada corrida.....	31
IV.	Tabla de porcentajes de humedad inicial y final.....	32
V.	Tabla de medidas de masa de harina obtenidas por lote.....	32
VI.	Clasificación simple para el análisis de varianza.....	38
VII.	Resumen del análisis de varianza de un factor obtenido por medio del programa Microsoft Excel 2013.....	41

VIII.	Tabla de análisis de varianza obtenida por medio del programa Microsoft Excel 2013.....	42
IX.	Datos obtenidos para la prueba de Tukey .....	45
X.	Comparación de medias .....	45
XI.	Comparación de medias obtenidas a partir de los datos obtenidos en las encuestas.....	46
XII.	Rendimiento de harina por lote .....	98
XIII.	Análisis proximal obtenido a partir de las galletas con un porcentaje en peso de 60 % de harina de banano y 40 % de harina de maíz.....	108

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>cm</b>	Centímetro
<b>X<sub>eq</sub></b>	Contenido de humedad al equilibrio
<b>X<sub>t</sub></b>	Contenido de humedad en el tiempo t
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Fórmula molecular del agua
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kg de agua/h*m<sup>2</sup></b>	Kilogramos de agua por cada hora por metro cuadrado
<b>Kg/h</b>	Kilogramos por hora
<b>Kcal</b>	Kilocaloría
<b>W</b>	Masa de sólido húmedo
<b>W<sub>s</sub></b>	Masa de sólido seco
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>Oz</b>	Onza
<b>dx/dt</b>	Pendientes tangentes a la curva de contenido de humedad libre vs. tiempo.
<b>s</b>	Segundo
<b>R</b>	Velocidad de secado



## GLOSARIO

<b>Adiabático</b>	Es un proceso o sistema donde no se gana o pierde calor.
<b>Adsorber</b>	Cuando átomos, moléculas o iones son atrapados o retenidos en la superficie de un material.
<b>Agua libre</b>	Agua contenida en un material que es fácil de retirar y forma películas en la superficie de un sólido.
<b>Agua ligada</b>	Agua contenida en un material que no puede eliminarse fácilmente, no está libre para actuar como solvente para sales y azúcares. Se puede congelar a muy bajas temperaturas, no presenta presión de vapor y su densidad es mayor que la del agua libre.
<b>Biodegradable</b>	Es una sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que la conforman, debido a la acción de agentes biológicos como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
<b>Calor de vaporización</b>	Energía necesaria para cambiar una unidad de masa de sustancia en estado líquido al estado gaseoso.

<b>Calor sensible</b>	Cantidad de calor que absorbe o libera un cuerpo sin que en el ocurran cambios en su estado físico (cambio de fase).
<b>Case hardening</b>	Endurecimiento de la superficie de un sólido debido al transporte de sales solubles del interior del sólido.
<b>Celulosa</b>	Es un biopolímero (macromolécula contenida en los seres vivos) compuesto exclusivamente de moléculas $\beta$ -glucosa.
<b>Contaminación cruzada</b>	Proceso por el cual los alimentos entran en contacto con sustancias ajenas, generalmente nocivas para la salud.
<b>Dispersión</b>	Unión de dos o más sustancias en proporciones variables que conservan sus propiedades; sus componentes pueden separarse por medios físicos, generalmente no hay absorción o desprendimiento de energía al haberlo (interacción química).
<b>Escala hedónica</b>	Permite medir preferencias y estados psicológicos del consumidor, utiliza la medida de la reacción humana como elemento indirecto para evaluar el producto.
<b>Fibra alimentaria</b>	La parte de las plantas comestibles que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que experimenta una fermentación parcial o total en el intestino grueso.

<b>Fuerza electrostática</b>	Se refiere a la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas eléctricas en reposo.
<b>Glucoproteína</b>	Llamada también glicoproteína. Son moléculas compuestas por una proteína unida a uno o varios glúcidos (biomoléculas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno) simples o compuestos.
<b>Gluten</b>	Conjunto de proteínas contenidas en varios cereales. Está compuesto de gliadina y gluteína; es el responsable de dar elasticidad a la masa de la harina.
<b>Higroscopicidad</b>	Capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica.
<b>Humedad crítica</b>	Se refiere al contenido de humedad que existe cuando hay un cambio entre el primero y segundo período de secado.
<b>Imbición</b>	Se define como el desplazamiento de un fluido viscoso por otro fluido inmiscible con este.
<b>Liofilización</b>	Llamado también deshidrocongelación es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación.
<b>Macromolécula</b>	Son moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos.



<b>Mesh</b>	Tamaño de partícula mínimo que será retenido por un tamiz.
<b>Nixtamalizado</b>	Es el proceso mediante el cual se realiza la cocción del maíz con agua y cal.
<b>Presión parcial</b>	Refiriéndose a un gas, sería la presión de dicho gas si se eliminaran, repentinamente, todos los demás componentes de la mezcla o solución sin que hubiese variación de temperatura.
<b>Radiación</b>	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
<b>RRT</b>	Razón de reducción de tamaño.
<b>Sistema radicular</b>	Conjunto de raíces de una misma planta.
<b>Temperatura de bulbo húmedo</b>	Se mide con un termómetro de mercurio que tiene el bulbo envuelto en un paño de algodón empapado de agua. Se emplea para medir la temperatura húmeda del aire.
<b>Ultrafiltración</b>	(UF) es un tipo de filtración por membranas en la cual la presión hidrostática (presión debida al peso de un fluido en reposo) fuerza un líquido contra una membrana semipermeable.

**Vástago**

Rama tierna de un árbol o planta.



## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo ofrecer una alternativa libre de gluten para el mercado guatemalteco aprovechando una de las materias primas más abundantes en el país, el banano. Este se clasifica según su grado de maduración, siendo 1 el menor grado de madures y 7 el mayor grado de madures. Se seleccionó fruta con grado de maduración 2 para evitar la presencia de fructosa, esta hubiera complicado el proceso de molienda. El banano verde seco se utilizó para la elaboración de harina libre de gluten y libre de preservantes artificiales, dicho proceso consistió en las etapas siguientes:

- Selección y compra de la materia prima
- Lavado, pelado y cortado
- Secado y molienda
- Elaboración de producto final y escala hedónica
- Análisis proximal del producto con mayor aceptación

Durante el proceso de secado se evaluó la variación del peso y los tiempos de secado con 3 diferentes tipos de corte (rodajas de 3 mm, 5 mm y 7 mm de grosor) los datos obtenidos se utilizaron para elaborar las curvas de secado. La elaboración del producto final se realizó con base en 5 proporciones (harina de banano: harina de maíz, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30), utilizando muestras pequeñas para evaluar la consistencia de las galletas.

Las muestras que permitían un producto aceptable se sometieron a la opinión del público por medio de una escala hedónica de 5 puntos para

determinar su aceptabilidad, la galleta con mayor puntaje se sometió a un análisis proximal para determinar el contenido nutricional.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar un estudio a nivel laboratorio sobre la variación del tiempo de secado de banano verde (variedad Cavendish) con 3 diferentes tamaños de partícula (rodajas de 3 mm, 5 mm y 7 mm de grosor), para utilizar en la elaboración de harina de banano. La harina obtenida se debe mezclar con harina de maíz en distintas proporciones (30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30) para determinar cuál puede proveer una mejor mezcla para utilizar en una galleta libre de gluten.

### **Específicos**

1. Evaluar el tiempo de secado hasta alcanzar la humedad de equilibrio dentro del secador utilizando 3 diferentes tipos de corte:
  - Rodajas de 3 mm de grosor
  - Rodajas de 5 mm de grosor
  - Rodajas de 7 mm de grosor
2. Evaluar y comparar las curvas de secado del banano verde, sin cáscara, con los 3 diferentes tipos de corte propuestos en el objetivo 1.
3. Obtener el rendimiento de la harina en función del peso inicial del banano cortado.



## INTRODUCCIÓN

El gluten es una glucoproteína contenida principalmente en los granos de trigo, cebada y centeno. Estos son ampliamente utilizados en la industria alimenticia del país. Se encuentra presente en la mayoría de productos alimenticios procesados de consumo diario y algunas medicinas en la forma de aditivos, harinas o por contaminación cruzada.

La intolerancia al gluten y enfermedad celiaca son padecimientos que impiden a las personas, que lo padecen, consumir productos que contengan gluten. El único tratamiento disponible, hasta la fecha para esta intolerancia es una dieta libre de gluten. En el país esta clase de dieta es limitada y difícil de llevar debido a que existen pocas opciones en el mercado libres de gluten y estas generalmente tienen un alto costo. Por esto se hace necesaria la exploración de materias primas alternas para elaborar productos libres de gluten.

Debido a lo anterior surge el interés por desarrollar opciones libres de gluten aprovechando la riqueza en materias primas sin explotar que existe en el país. Para el estudio se eligió el banano verde que ofrece una buena opción en la elaboración de harinas libres de gluten por su abundancia, disponibilidad durante todo el año y su bajo costo en comparación a otras materias primas aptas para lo mismo. Esto contiene alto contenido de calorías, carbohidratos y potasio.

El estudio se realizó basándose en la toma de datos durante el proceso de secado, molienda de la materia seca y posterior evaluación del uso de la harina obtenida en un producto final, en este caso una galleta. Se utilizaron distintas



proporciones de harina de maíz y harina de banano. La receta utilizada para cada proporción fue la misma.

Finalmente se evaluó la aceptación al público tomando a 30 personas al azar para determinar la aceptación de los productos planteados. Esto se realizó por medio de una escala hedónica de 5 puntos. Después de someter los resultados obtenidos a un análisis de varianza de un factor y la prueba de Tukey se determinó que la proporción con un 60 % de harina de banano verde fue la que tuvo mayor aceptación, esta se sometió a un análisis proximal.

Inicialmente se plantearon 5 proporciones para trabajar, pero en las pruebas preliminares se determinó que la muestra, con un 30 % de harina de banano, presentaba un olor característico de la harina de maíz muy fuerte. Esto hacía al producto no deseable para su consumo.

## 1. ANTECEDENTES

La intolerancia al gluten y enfermedad celiaca son padecimientos cada vez más comunes en el país. Con el paso de los años se han creado algunas tiendas y negocios especializados en productos libres de gluten. Lamentablemente muy pocas empresas se dedican a la elaboración de productos aptos para celíacos, por lo tanto se hace necesario exportar estos productos. Lo cual provoca altos costos para el público en general.

Una de las ventajas de vivir en Guatemala, un país donde abunda la agricultura, es la gran variedad de materias primas disponibles. Para este estudio se optó por utilizar el banano verde (variedad Cavendish), una planta herbácea del género Musa. Guatemala es uno de los principales productores de banano a nivel mundial, se siembra principalmente en la costa sur del país y se distribuye a lo largo y ancho del territorio nacional. Por ello es una fruta fácil de conseguir y su costo es bajo, esto la hace una buena materia prima para desarrollar diferentes productos.

Debido a su importancia, en el país se han realizado abundantes estudios sobre esta musácea. La temática principal de estos estudios son sus métodos de siembra, enfermedades, abonos, plagas y otros. Los siguientes estudios se tomaron en cuenta para la propuesta del proyecto de harina de banano verde.

- En agosto de 2005 en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se realizó una tesis con el título *Valor nutritivo de la harina de banano verde* realizada por Luz del Carmen Santiago Roldán.

El estudio consistió en determinar el valor nutricional del banano verde cosechado en época seca y época húmeda, su valor nutricional se comparó con el valor nutricional de la harina de plátano. La harina se utilizó para la elaboración de atol. Se concluyó que no existe diferencia significativa en el valor nutricional de la harina de banano cosechado en épocas seca y fría. Además se concluyó que la harina elaborada es rica en grasa, fibra cruda y ceniza, mientras que presentó valores bajos de energía, carbohidratos y potasio.

- En agosto de 2009 en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, se realizó una tesis con el título de *Optimización técnica del proceso de deshidratación del banano pelado por el método de aspersion, al variar la madurez del fruto* realizada por Haydee Maricruz Montenegro Amaya.

El estudio consistió en el secado por aspersion de la fruta variando su grado de madurez. Una vez la materia prima estaba seca se procesó para convertirla en harina y se evaluó su contenido nutricional. El estudio concluyó que el porcentaje de rendimiento para la obtención de harina es inversamente proporcional al grado de madurez de la fruta y que el secado del banano maduro no es factible para la elaboración de la harina.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Generalidades del banano**

Su nombre científico es *Musa paradisiaca* es una planta que pertenece al grupo herbáceo del género Musa. Existe una gran variedad y sus características la hacen una de las frutas tropicales de mayor consumo en el mundo. Es rico, fibroso y de alto contenido nutricional, se cultiva en más de 130 países, siendo India el principal productor a nivel mundial.

De acuerdo con la variedad un racimo puede llegar a tener 100 a 400 frutos, cada uno llega a tener de 8 a 20 cm de largo con un peso entre 1 y 4 oz. A los 14 meses después de la siembra de los rizomas o 4 meses después de aparecer la yema floral, los racimos están listos para ser cosechados.

### **2.2. Usos del banano**

El mercado de banano en el mundo es el de consumo en fresco. Una cantidad mínima se destina a procesos industriales para la obtención de productos alimenticios. En general, el banano puede ser utilizado industrialmente como materia prima para la obtención de productos. Estos son bananos deshidratados, o secados, en almíbar, cremas, postres, pulpas, purés, compotas, mermeladas, conservas, harinas, hojuelas, fritos, jarabe, confitados y congelados, liofilizados, etanol, jaleas, bocadillo, néctares, jarabe de glucosa y fructosa, saborizantes y aromatizantes, dulce elaborado de su cáscara, alimento para el ganado y otros animales.

Los desechos fibrosos del cultivo también sirven como materia prima para la elaboración de pulpas celulósicas, almidón y productos químicos.

Los subproductos o abonos orgánicos que proceden del vástago se incorporan a la plantación y los residuos que se generan en la cosecha, fibras y papel a base de los pseudotallos, alcohol, aguardiente, vino, vinagre de la fermentación de la fruta. En otros países se está manejando el uso de los residuos de cosecha para la elaboración de gas biológico, láminas de cartón, material para embalaje y pita. La utilización del banano como fuente alimenticia se remonta a épocas antiguas y su consumo se considera popular.

### **2.3. Beneficios del consumo de banano**

El banano es una fruta ideal para lograr una dieta saludable. Este ayuda a incrementar la cantidad admitida de comida vegetal en las dietas porque no necesitan ser cocidas, proceso durante el cual importantes nutrientes se pueden perder. Esta fruta se la puede disfrutar en su estado natural y no necesita azúcar, salsas, sal, o grasa para resaltar su delicioso sabor. El banano es rico en carbohidratos y contiene poca grasa. Ayuda a proveer vitaminas esenciales como la vitamina C, B6, B1, B2. También contiene grandes cantidades de potasio y magnesio. Los niveles de sodio son bajos.

Tabla I. **Composición nutricional de una banana de 100 gramos**

Componente	Contenido (g)
Agua	75,1
Proteína	1,2
Grasa	0,3
Carbohidratos	23,2
Energía 95Kcal	403,2

Fuente: Anacafé. *Cultivo de banano*. p. 5.

#### 2.4. **Variedades importantes**

En Guatemala se producen distintas variedades de banano, siendo las más importantes las siguientes:

- Variedad Gros Michel
- Variedad Valery
- Variedad Williams
- Variedad Cavendish Gigante o Grand Nane

Para el estudio se tiene especial interés por la variedad Cavendish debido a su tamaño y facilidad de pelado. Esta variedad presenta un sistema radicular fibroso, grueso y succulento, alcanzando un largo de 50 a 150 centímetros. El pseudotallo alcanza un grosor de 30 a 70 centímetros siendo de un color café oscuro. La altura de las plantas de esta variedad oscila entre 1,50 a 2,50 m. Es una variedad más pequeña que la valery, de mayor anclaje y resistencia al viento. Su inflorescencia alcanza tamaños desde 75 a 150 cms.

El banano suele clasificarse por su grado de maduración. A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar esta clasificación:

Figura 1. **Grado de maduración del banano**



Fuente: OLMOS, Cristina. *Propiedades de los plátanos o bananos*.  
<http://calendariosaboresbolivia.com/>. Consulta: 3 de abril de 2013.

## 2.5. **Secado de alimentos**

El agua contenida en un alimento, sea de origen animal o vegetal, está más o menos disponible para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas. Esta disponibilidad varía de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retienen más agua que otras. Varía incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde.

Durante un proceso de deshidratación se eliminan primero las moléculas de agua menos ligadas. La fracción que se extrae en último lugar corresponde a las moléculas de agua de estructura, fuertemente ligadas por uniones electrostáticas

a macromoléculas orgánicas del extracto seco. El agua libre se comporta como el agua pura, requiere por lo tanto para evaporarse relativamente poca energía.

Por el contrario la evaporación del agua ligada es más difícil y requiere más energía. Por lo tanto, la cantidad de energía necesaria para evaporar la misma cantidad de agua aumenta durante el secado, el último gramo de agua evaporada necesita más energía que el primero.

### **2.5.1. Eliminación de agua por vía mecánica**

Algunos procesos de preconcentración y de presecado pueden llevarse a cabo por simple transferencia de cantidad de movimiento. Como operaciones previas a la concentración se pueden citar la centrifugación, filtración y ultrafiltración; entre las previas al secado, el escurrido y prensado.

La eliminación de agua por vía mecánica solo permite la separación de una parte del agua libre de los productos tratados. Ningún procedimiento mecánico permite reducir la humedad de un producto más del 60 %. Precisamente el hecho que solo se elimine una fracción del agua no ligada, implica un menor consumo de energía en los procesos de eliminación del agua por vía mecánica.

Asimismo, con los procedimientos mecánicos no se elimina agua pura, se trata de una dispersión o de una solución más o menos rica en extracto seco.

### **2.5.2. Eliminación de agua por vía térmica**

En este caso se trata esencialmente de una operación de transferencia de masa que requiere una activación previa del agua por una cierta cantidad de energía aportada por una transferencia de calor. Entre las técnicas de eliminación



de agua por vía térmica se deben distinguir los procedimientos por ebullición de los procedimientos por arrastre.

En el caso de la eliminación de agua por ebullición se lleva el producto a una temperatura suficiente, para que la presión de vapor del agua del producto sea igual a la presión del ambiente. Si se trata de presión atmosférica esta temperatura es 100 °C, que no es deseable para algunos productos. Si se trabaja al vacío esta temperatura es más baja, en este caso hay otros inconvenientes principalmente de tipo económico.

El calor se aporta al producto por conducción a través de una superficie caliente, por convección a partir de vapor agua recalentado o por la utilización de radiaciones. El agua evaporada del producto rodea la superficie del mismo en forma de una atmósfera de vapor de agua pura.

En la eliminación de agua por arrastre, la energía es aportada generalmente por aire caliente, cuya presión parcial de agua es inferior a la presión de vapor del agua en el producto.

Los procedimientos que se basan en la eliminación de agua por ebullición son energéticamente menos costosos que los de arrastre, pero en contrapartida. Estos últimos son los únicos que permiten una eliminación completa de agua, sin alterar excesivamente la calidad del producto tratado, con una excepción: la liofilización. Cuyo principio se asimila a un proceso por ebullición, es la más costosa en energía y la que mejor preserva la integridad del producto.

### **2.5.3. Proceso de secado**

Es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación, secado y deshidratación, que pueden considerarse sinónimos. Algunos autores establecen diferencias, únicamente cuantitativas, entre ellos:

- **Desecación:** es la eliminación de agua hasta una humedad final que esté en equilibrio con la del aire de secado. Esta humedad final oscila entre 0,12 y 0,14 kilogramo de agua por kilogramo de producto húmedo. El contenido de humedad alcanzado debe ser suficientemente bajo para inhibir el crecimiento microbiano, así como para limitar las reacciones enzimáticas.
- **Deshidratación:** es la eliminación del agua de un producto hasta un nivel próximo al 0 % de humedad.

El agua se elimina de los alimentos por medio de su difusión, en fase líquida y vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor. Por lo tanto, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor.

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto

hacia la superficie de este. El gradiente de presión existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de este.

Por lo tanto, durante el secado se producen cuatro procesos de transporte:

- Transmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto; puede realizarse por conducción, convección o radiación.
- Transmisión de calor desde la interface sólido-gas hasta el interior del sólido. Solo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).
- Transmisión de materia a través del sólido. Se puede producir por difusión o por capilaridad. Difusión debida a las diferencias de concentración y capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25 % (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad (65 % o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.
- Transferencia de vapor desde la interface sólido-gas hacia el seno del gas.

Los equipos de deshidratación utilizarán para la transferencia de energía, procesos basados en la convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento. Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire como vehículo de esta energía. Por lo tanto la transferencia de calor dependerá, en este caso, de la temperatura del

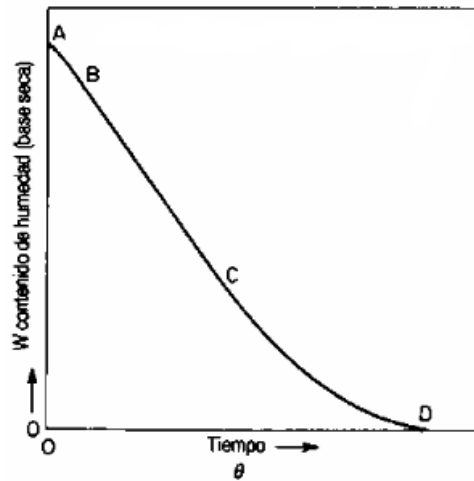
aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta del alimento y de la presión.

Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citados, puesto que la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los casos los procesos limitantes serán los de transporte de materia y calor en el interior del alimento.

#### **2.5.4. Curvas y períodos de secado**

El proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento y evaporación desde una superficie saturada del sólido, seguido de una fase de evaporación desde la superficie saturada, que tiene un área gradualmente decreciente y presenta una velocidad de secado constante, y una o más fases de velocidad de secado decreciente donde se evapora el agua del interior del sólido. En la figura 1 se muestra la curva de secado obtenida cuando se representa el contenido de humedad contra el tiempo de secado. Estos periodos se describen a continuación:

Figura 2. **Curva de secado contenido de humedad vs. tiempo**

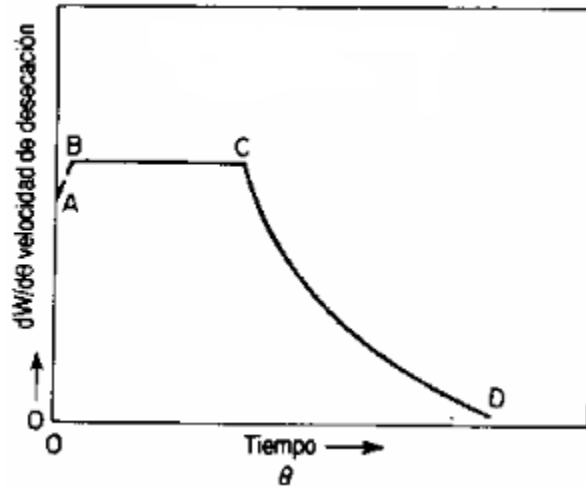


Fuente: PERRY, Robert H. *Perry manual del ingeniero químico*. p. 20-10.

- Un período de precalentamiento: que transcurre mientras el producto y el agua, en él contenida, se calientan ligeramente. Esto hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica del ambiente secante. El producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto la velocidad de transferencia de masa es muy lenta.

Por el contrario, el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevada, en consecuencia la transferencia de calor es alta. El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto. Este período se encuentra en la sección A-B de la figura 2, es muy corto en comparación con el tiempo total de secado.

Figura 3. **Curva de secado velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: PERRY, Robert H. *Perry manual del ingeniero químico*. p. 20-10.

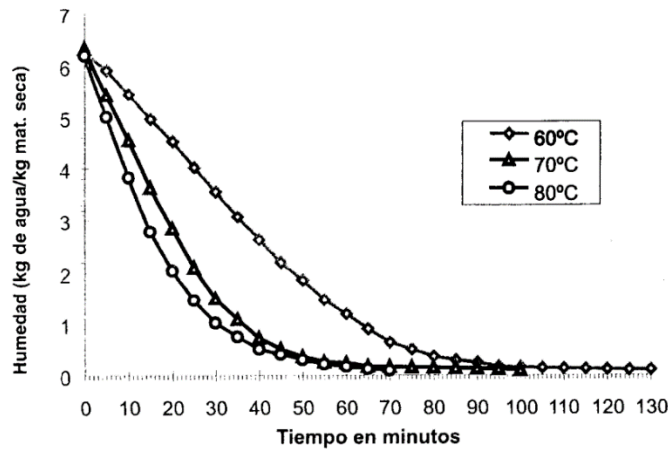
- Un periodo de velocidad constante. El agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo esta la de bulbo húmedo del aire. Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua.

Este período continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica, que depende del tamaño de partícula y de las condiciones del aire de secado. Este período de secado se puede apreciar en la sección B-C de la gráfica 2.

El entorno secante, el aire impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura (figura 3). Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuando mayor es, mayor es la velocidad del secado.

Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada, comienzan uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente y la temperatura se incrementa continuamente desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor.

Figura 4. **Influencia de la temperatura del aire de secado**



Fuente: CASP VANACLOCHA, Ana y ABRIL REQUENA, José. *Procesos de conservación de alimentos*. p. 317.

- Un período de velocidad decreciente comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos). Desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica. La

zona de evaporación frente de secado que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto.

La brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor.

En el primer período de velocidad decreciente, el mecanismo de transporte de masa que predomina es la difusión de vapor, desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto, en la figura 2. Los periodos de velocidad decreciente se presentan en la sección C-D, en la figura 4 el primer período de velocidad decreciente se presenta en la sección C-E.

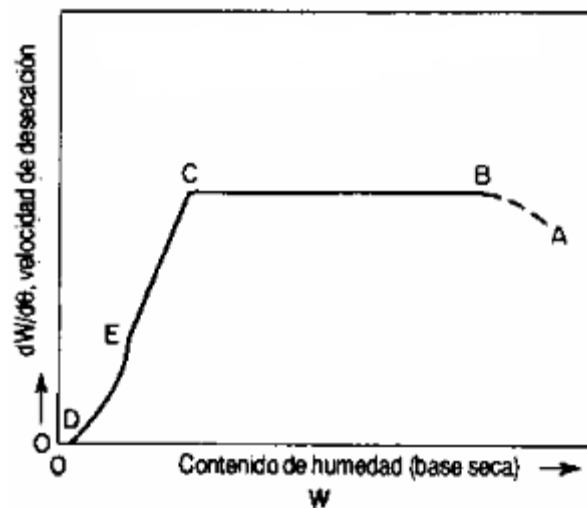
- Por último se tiene un segundo período de velocidad decreciente, o periodo de velocidad final. Este período solo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el período anterior. En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión-sorción).

Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende, de las condiciones de secado. Los períodos de velocidad decreciente se aprecian claramente si se representa la velocidad de secado ( $dx/dt$ : variación de la humedad con respecto del tiempo) vs. contenido de humedad en base seca (figura 4).



La humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente. El segundo periodo de velocidad decreciente se presenta en la sección E-D, el punto E representa el punto en que toda la superficie expuesta se hace completamente instaurada.

Figura 5. **Curva de secado velocidad de secado vs. contenido de humedad**



Fuente: PERRY, Robert H. *Perry manual del ingeniero químico*. p. 20-10.

### 2.5.5. Preparación de los productos para el secado

La efectividad de los tratamientos de conservación de los alimentos depende de su carga microbiana, cuando más elevada sea más difícil es que sean efectivos. Es necesario por tanto en todo momento evitar el incremento de la contaminación antes de la conservación. Para esto se debe realizar en primer lugar un lavado de los productos a secar, con el fin de garantizar una higiene

constante para evitar todo desarrollo de microorganismos. Se recomienda el lavado y remojo con agua clorada seguido de un enjuagado con agua limpia.

Una vez lavado se debe preparar la materia prima para el secado, como regla general, interesa aumentar la superficie de intercambio aire/producto (trozos pequeños, colocados en el secadero sin que se toquen en capas delgadas). Esto presenta varias ventajas, permite disminuir la duración de la primera fase, cuando más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada, antes alcanzará el producto la temperatura a partir de la cual el secado es efectivo. En la segunda fase, la evaporación tiene lugar en la superficie del producto y es tanto más rápida cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el aire y el producto y más fácilmente puede acceder el aire a toda esta superficie. Por otra parte el riesgo de *case hardening* es menor cuando más pequeños sean los trozos. Por último en la tercera fase, la eliminación de agua del producto será tanto más fácil cuando menor sea el tamaño de los trozos.

Sin embargo, a veces es difícil tomar estas medidas, como por ejemplo en el caso del secado de cereales, que se tratan en capa gruesa y tienen un comportamiento complejo.

#### **2.5.6. Envasado y almacenamiento del producto deshidratado**

Una vez deshidratado el alimento, para su buena conservación, se le debe dar abrigo de la humedad, del oxígeno del aire y de la luz, que afecta a los pigmentos y cataliza las oxidaciones. Por lo tanto, el material de envasado deberá elegirse teniendo en cuenta estos dos aspectos.

El envasado al vacío es un buen sistema para evitar los problemas que ocasiona el oxígeno. Si se utilizan envases rígidos, de los que es difícil extraer

todo el oxígeno por vacío, se deberá efectuar un barrido del oxígeno presente con la ayuda de un gas inerte, la elección del material utilizado para el envasado en la práctica depende de:

- La naturaleza del alimento.
- Las condiciones de envasado y almacenamiento (temperatura, humedad, y otros).
- Propiedades protectoras del material.
- Facilidad de empleo.
- Disponibilidad en el mercado su coste.

## **2.6. Sistemas de deshidratación**

Los métodos de secado se han desarrollado alrededor de los requerimientos específicos de cada producto. Por esta razón el proceso tiene lugar de muchas formas y se utilizan diferentes clases de equipos. En general, la deshidratación se conduce según dos métodos básicos: proceso adiabático y no adiabático.

En el proceso adiabático el calor de vaporización es suministrado por el calor sensible del aire en contacto con el producto a secar. En el proceso no adiabático, el calor de vaporización es aportado por el calor radiante o por el calor transferido a través de paredes en contacto con el material a secar.

En todos los métodos de deshidratación, el alimento a secar se debe poner en contacto con un medio, que con frecuencia es aire, para eliminar la humedad del producto y sus alrededores. Basándonos en la influencia de la transferencia de materia y de la transmisión de calor, se deduce que el sistema de deshidratación más eficaz será aquel que mantenga los máximos valores

posibles de los gradientes de presión de vapor y de temperatura entre el aire y el interior del producto a deshidratar.

La diversidad de productos alimentarios existente ha llevado a desarrollar muchos tipos de secadores para la industria alimentaria. Cumplen las condiciones antes citadas junto con altos valores de los coeficientes de convección en la superficie del producto. En la tabla II se indican algunos de los productos que pueden ser deshidratados junto con algunos de los posibles tipos de secadores utilizados.

La selección de un tipo particular de secador y, por tanto, de método de secado, depende de una serie de factores. Entre ellos se incluye la forma de las materias primas y sus propiedades, la forma física deseada y las características del producto, las condiciones necesarias de operación y los costes de la misma.

Mientras que el secado al sol se practica todavía, para algunas frutas tales como ciruelas, uvas y dátiles. El proceso de deshidratación atmosférica se utiliza para manzanas, ciruelas y varias hortalizas. Los procesos continuos, tales como túnel, cinta y lecho fluidizado son principalmente utilizados para hortalizas.

El secado por atomización es aconsejable para zumos de frutas concentrados y leche y el proceso de deshidratación a vacío es útil para frutas de baja humedad y alto contenido de azúcar. A continuación se exponen las principales características de estos sistemas de deshidratación y los diferentes tipos de secaderos utilizados.

Tabla II. Tipos de secadores según materia a secar

Producto	Tipo de secador
Hortalizas, frutas confitería.	Bandejas y túnel
Forrajes, granos, hortalizas, frutas, nueces, cereales de desayuno.	Cinta
Forrajes, granos, manzanas, lactosa, estiércol de aves, turba, almidón.	Rotativos
Café, leche, té, puré de frutas.	Atomización
Leche, almidón, alimentos infantiles, predigeridos, sopas, productos de cervecería y destilería.	Tambor
Almidón, pulpa de frutas, residuos de destilería.	Neumático
Café, esencias, extractos de carne, frutas, hortalizas.	Congelación y vacío
Hortalizas.	Lecho fluidizado
Zumos.	<i>Foam mat</i>
Manzanas y algunas hortalizas.	Horno

Fuente: SOKHANSANJ, S. y JAYAS, D.S. *Drying of foodstuff, in industrial drying handbook.*  
p. 81.

Para el secado de banano verde se dispone de un secador de bandejas de flujo transversal. A continuación se describe el diseño y funcionamiento del mismo:

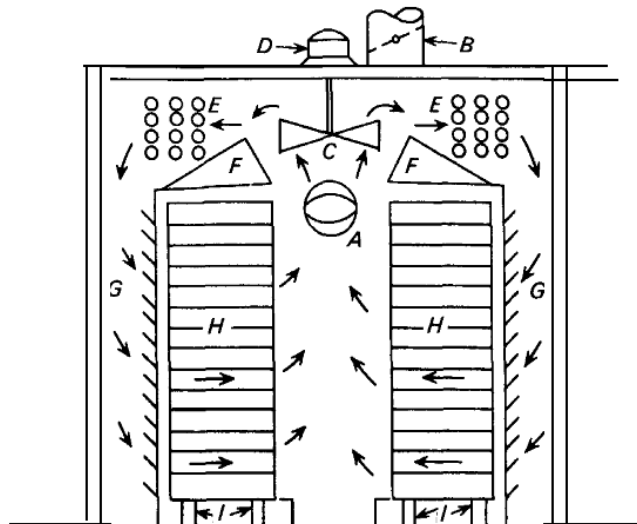
### 2.6.1. Secador de bandejas

El calor del medio de secado (aire caliente) se transmite al producto por convección: la corriente de convección pasa sobre el producto, no a través del mismo. El aire debe circular sobre la superficie del producto, como se ha dicho, a relativamente alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y de la transferencia de masa.

En la figura 5 se representa un esquema de este tipo de secadores, consiste en una cámara rectangular de chapa metálica que contiene dos carretones para soportar los bastidores (H). Cada bastidor lleva numerosas bandejas poco profundas, tal vez de forma cuadrada con 76 cm de lado y de 5 a 15 cm de profundidad, que se cargan con el material a secar.

Entre las bandejas se hace circular aire con una velocidad de 1 a 10 m/s por medio del ventilador (C) y el motor (D), pasando sobre los calentadores (E). Las placas deflectoras (G) distribuyen el aire uniformemente sobre el conjunto de bandejas. Parte del aire húmedo se expulsa de forma continua a través del conducto de descarga (B), mientras que por (A) entra la reposición de aire fresco. Los bastidores van montados sobre las ruedas (I), de forma que al final del ciclo de secado se pueden retirar de la cámara y descargar el contenido de las bandejas.

Figura 6. **Secador de bandejas**



Fuente: WARREN, McCabe. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 848.

Cuando las características del material y su manejo lo permiten se utilizan bandejas perforadas, en las que el aire circula a través de la capa de sólidos. Con ello se consigue aumentar la superficie de producto expuesta a la acción del aire, disminuyéndose así el tiempo de secado. A pesar de que de esta forma la velocidad de paso del aire a través del sólido se reduce de 0,6 a 1 m/s, la eficiencia del secado aumenta, y se consigue la evaporación de 1 a 10 kg de agua/h\*m<sup>2</sup>.

Los rendimientos térmicos de estos secaderos suelen estar comprendidos entre el 20 y el 60 %, pudiendo ser más bajos. Para mejorar este rendimiento se recircula la mayor parte del aire, introduciéndose aire fresco hasta un 15 % del total de aire recirculado. Los secadores de bandejas son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 kg/h de producto seco.

Son secaderos muy utilizados a pequeña escala, en laboratorios y plantas piloto. Es relativamente fácil ajustar y controlar las condiciones óptimas de secado en el interior del armario, por esta razón se pueden utilizar para deshidratar productos sensibles al calor en pequeñas cargas. Tienen la desventaja de no secar el producto de forma uniforme, dependiendo de su posición en el secador. Por ello, puede ser necesario girar las bandejas durante el proceso para conseguir un secado uniforme.

En este tipo de secadores se puede tratar prácticamente cualquier producto, alimentos de cualquier tamaño y forma, pero a causa de la mano de obra requerida para la carga y descarga, su operación resulta costosa para su baja capacidad de producción. Sin embargo, su polivalencia y la buena calidad de los productos obtenidos, los hacen utilizables para deshidratar: zanahorias,

espinacas, ajo, perejil, judías verdes, champiñones, cebollas, guisantes, frutas, carne y sus productos, entre otros.

## **2.7. Reducción de tamaño**

El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. En los procesos industriales, la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes.

Las grandes piedras de un mineral crudo se desintegran hasta un tamaño manejable; los productos químicos sintéticos se muelen hasta polvo y las láminas de plástico se cortan en cubos o rombos. Los productos comerciales con frecuencia han de cumplir rigurosas especificaciones con respecto al tamaño y a veces, con respecto a la forma de las partículas. La reducción de partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su más fácil tratamiento. Los sólidos pueden romperse de muy diferentes formas, pero solamente cuatro de ellas se utilizan habitualmente en los equipos de reducción de tamaño:

- Compresión
- Impacto
- Frotación o rozamiento
- Corte

Un cascanueces, un martillo, una lima y unas tijeras constituyen ejemplos de los cuatro tipos de acción, de una forma general. La compresión se utiliza para la reducción gruesa de sólidos duros, dando lugar a relativamente pocos finos, el



impacto genera productos gruesos, medios o finos. La frotación conduce a productos muy finos a partir de materiales blandos no abrasivos. El corte da lugar a un tamaño definido de partícula y a veces también de forma, con muy pocos o nada de finos.

### **2.7.1. Molino de disco**

Se les conoce también como pulverizadores. El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin o su equivalente, y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos. Estos tienen una convergencia radial, están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos.

Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Reciben generalmente partículas de 1 cm o menos y pueden producir hasta polvos de 200 Mesh. Producen un polvo muy homogéneo y su razón de reducción de tamaño, RRT, puede ser muy alta (20/1).

### **2.7.2. Tamizador**

Al realizarse una separación de tamaño o forma de uno o más sólidos, se hace la separación por tamizado. Existen tamices planos, fijos o vibrantes de igual forma algunos con grandes cedazos cilíndricos que estando inclinados rotan, y que en lugar de tener una pila de tamices, de mayor a menor, tienen una variedad de secciones en serie, de diferente tamaño de mesh, apertura de malla.

Existen los tipos rotatorios que son más productivos, ya que su eficiencia y grado de precisión de separación es mejor y más controlable, pues se puede jugar con el ángulo de caída y la velocidad de rotación. La sección del tipo de

mesh será a la elección del tamaño y forma del sólido que se quiera obtener. Para ello es conveniente consultar las normas de la serie de tamices de Estados Unidos y equivalentes de Tyler (ASTM – E – 11– 61).



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Variables**

Durante el proceso de secado se tuvo la influencia de variables dependientes e independientes. Estas variables se mencionan a continuación, su conocimiento permite determinar las condiciones a las cuales se trabajó y la influencia que tuvieron durante la toma de datos.

- Variables independientes: este tipo de variables no dependen de otros factores. Las que influyeron en el estudio fueron: presión atmosférica, humedad relativa del aire, temperatura dentro del secador, humedad inicial de la materia prima, tamaño de partícula y velocidad de viento dentro del secador.
- Variables dependientes: estas se crean como resultado del estudio o el experimento, y fueron: contenido de humedad durante el proceso de secado y al final del mismo, tiempos de secado, humedad final del producto secado.

#### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

El estudio se limitó al proceso de secado del banano verde (variedad Cavendish) por medio de un secador de flujo transversal utilizando 3 distintos tamaños de partícula (rodajas de 3 mm, 5 mm y 7 mm de grosor). Se tomaron medidas de la variación del peso de la materia prima durante el proceso de

secado y el tiempo en que se alcanzó la humedad de equilibrio. Estos datos se utilizaron para la elaboración de las curvas de secado.

Posteriormente se desarrolló un producto final de la cual se evaluó su aceptación al público. Por medio de una escala hedónica de 5 puntos a una población de 30 personas. Finalmente el producto final con mayor aceptación se sometió a un análisis proximal para determinar su valor alimenticio aproximado.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

**Asesora:** Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

**Investigador:** Ronald Alejandro Gaitán Santa Cruz

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Durante el estudio se utilizó los siguientes recursos.

- Materiales y reactivos:
  - Banano verde variedad Cavendish
  - Harina de maíz nixtamalizado marca Maseca
  - Azúcar
  - Mantequilla
  - Agua
  - Polvo de hornear
  - Esencia de vainilla
  - Hipoclorito de sodio
  - Detergente biodegradable

- Equipo
  - Balanza analítica
  - Balanza de humedad
  - Báscula
  - Secador de bandejas
  - Computadora
  - Guantes
  - Bolsas plásticas
  - Recipientes de plástico
  - Papel Craft
  - Cuchillo
  - Tabla para picar
  - Papel mayordomo
  - Limpiadores

#### **3.4.1. Infraestructura**

- El proceso de secado y molienda se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), sección Química Industrial, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII).
- La evaluación nutricional fue un servicio contratado en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa**

A continuación se describen ambas técnicas.

#### **3.5.1. Técnica cuantitativa**

Se utilizó para el análisis de la variación de la masa durante el proceso de secado y el tiempo que tardó en alcanzarse la humedad al equilibrio. Estos datos se utilizaron en la elaboración de las curvas de secado, durante el estudio se utilizó un secador de bandejas que cuenta con 15 bandejas donde se colocó la materia prima. Esto para obtener la variación de la masa de la muestra se tomó medidas de la masa por medio de una báscula. La toma de datos se realizó en intervalos de 30 minutos en la fase inicial y 1 hora en la fase final.

#### **3.5.2. Técnica cualitativa**

Una vez obtenida la harina, esta se mezcló con harina de maíz en 5 distintas proporciones (harina de banano: harina de maíz, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70). Antes de elaborar el producto final se realizó una muestra pequeña para determinar si la harina era apta para la elaboración de galletas analizando sus propiedades organolépticas. En esta fase se descartó la muestra con un 30 % de harina de maíz debido a que presentaba un fuerte olor a masa de nixtamal haciéndola desagradable al comerla.

Una vez hecho, lo anterior se elaboró con una mayor cantidad de galletas y estas se presentaron a 30 personas al azar para determinar cual tenía mayor aceptación por medio de encuestas y una escala hedónica de 5 puntos. La galleta con mayor aceptación se sometió a un análisis proximal para determinar su valor nutricional.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos obtenidos durante la fase experimental se colocaron en una tabla con el siguiente formato:

Tabla III. **Tabla de recolección de datos durante cada corrida**

Fecha: _____		Tamaño de partícula _____		
Lote _____		Hora de inicio _____		
Temperatura _____		Hora de salida _____		
Corrida	Bandeja	Masa de bandeja	Masa de bandeja y materia prima	Intervalo
	1			
	2			
	...			
	14			
	15			

Fuente: elaboración propia.

Al inicio del proceso de secado se tomó una muestra de la materia prima y se midió el contenido de humedad. Al finalizar el proceso de secado se tomó otra muestra y a esta también se le midió el contenido de humedad. Ambas mediciones se realizaron por medio de una balanza de humedad, dichos datos se anotaron en una tabla con el formato siguiente:



Tabla IV. **Tabla de porcentajes de humedad inicial y final**

Lote	Muestra	Porcentaje de humedad inicial (-)	Porcentaje de humedad final (-)
1	1,1		
	1,2		
	1,3		
Promedio			

Fuente: elaboración propia.

Una vez culminado el proceso de secado se procedió con la molienda. Al finalizarse este proceso se tomó una medida de la masa de harina obtenida. Para esto se utilizó una tabla con el formato siguiente:

Tabla V. **Tabla de medidas de masa de harina obtenidas por lote**

Lote	Masa total (Kg)
1	
2	
3	

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenida la harina se procedió a la elaboración del producto final y se evaluó la aceptación del público por el producto. Esto se realizó por medio de encuestas, el modelo de la encuesta se muestra a continuación. La tabulación de los datos se evaluó por medio de una escala hedónica de 5 puntos con una población de 30 personas.

Figura 7. **Evaluación sensorial de la galleta con base en una escala hedónica**

**Ficha para la evaluación sensorial de la galleta libre de gluten**

Prueba de escala hedónica de 5 puntos

**Instrucciones:** Por favor, pruebe las distintas muestras y califíquelas en base las opciones presentadas en el siguiente recuadro marcando con una X la opción que considere apropiada.

Nombre : \_\_\_\_\_

Fecha : \_\_\_\_\_

Descripción	Muestra			
	920	911	590	493
Me gusta mucho.				
Me gusta.				
Me es indiferente.				
Me disgusta.				
Me disgusta mucho.				

Gracias por su opinión.

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A continuación se presentan las distintas mediciones y procedimientos realizados durante la elaboración del proyecto.

#### **3.7.1. Medición de masa**

Para la obtención de los datos experimentales, en cada lote de secado, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se seleccionó y compró la materia prima, se eligió banano verde de la variedad Cavendish con un grado de maduración 2. Se tuvo especial cuidado con el grado de maduración y desgarres o cortadas que pusieran a descubierto el interior del fruto.
- Se lavó, peló y cortó la materia prima. Posteriormente se almacenó en el refrigerador para su traslado al laboratorio donde se sometió al proceso de secado.
- Se limpió el secador junto con sus bandejas para eliminar residuos u aromas de otras materias primas trabajadas anteriormente. Se enumeró cada bandeja.
- Se colocó papel Kraft sobre las bandejas para proteger la materia prima de cualquier contaminante contenido en el enrejado. Posteriormente se midió la masa de cada bandeja junto con el papel Kraft por medio de una báscula.

- Se colocó la materia prima sobre las bandejas enumeradas y se midió la masa de las bandejas junto con el papel Kraft y la materia prima por medio de una báscula. Después se colocaron las bandejas dentro del secador en orden de numeración descendente.
- Se inició el proceso de secado tomando medidas de la variación de la masa. Por medio de una báscula en intervalos de 30 minutos inicialmente, se rotó la posición de las bandejas cada 2 horas.
- Conforme la velocidad, en que se perdía masa de humedad disminuyó, se aumentó el intervalo de tiempo a una hora entre cada medición de masa.
- Cuando se alcanzó una masa constante se realizó como mínimo 3 corridas más para verificar que no existiera variación en la masa.
- Se retiró el material seco y se almacenó en bolsas de cierre hermético (*Ziplock*) enumeradas para su posterior molienda.
- Para medir el área superficial expuesta se contó el número de rodajas colocadas por bandeja. Se realizó una operación aritmética para determinar el área basándose en la forma (cilíndrica), el radio y el grosor de corte.

### **3.7.2. Medición de contenido de humedad**

Para determinar el contenido de humedad de la materia prima antes de iniciar el proceso de secado y al finalizar el mismo se utilizó una balanza de humedad. Se colocaron 3 muestras por lote al inicio y al final, posteriormente se obtuvo el contenido de humedad promedio.

### **3.7.3. Medición de la masa de harina obtenida**

Se redujo el tamaño de partícula por medio de una licuadora industrial marca Croydon Industrial Ltda. Sin embargo, la harina no alcanzó el tamaño de partícula deseado por lo cual se sometió a una segunda reducción de tamaño por medio de un procesador de alimentos marca Oster. Posteriormente a la reducción de tamaño se retiró el materia que no se logró reducir y finalmente se tomó la medida de la masa obtenida por lote de secado.

### **3.7.4. Escala hedónica**

Una vez obtenida la harina se procedió a la elaboración del producto final y evaluación de la aceptación de este, por medio de una escala hedónica de 5 puntos dirigido a una población de 30 personas.

### **3.7.5. Análisis proximal**

La galleta con mayor aceptación se sometió a un análisis proximal para obtener su contenido nutricional. Este fue un servicio contratado, por lo cual no se realizó ningún procedimiento por el experimentador.

### **3.7.6. Procesamiento de los datos**

Los datos obtenidos experimentalmente se tabularon, ordenaron y procesaron por medio del programa Microsoft Excel 2013 y sus complementos. Durante el proceso de secado se contó con 15 bandejas, sin embargo para el procesamiento de la información solo se evaluó las 10 primeras bandejas, el resto sirvió para alcanzar una cantidad de harina considerable para realizar el producto final.

### **3.8. Análisis estadístico**

La variación de los datos se evaluó por medio de un análisis de varianza para experimentos de un factor por medio del programa Microsoft Excel 2013 y uno de sus complementos. Los pasos a seguir para realizar el análisis de varianza se presentan a continuación:

#### **3.8.1. Orden de los datos**

En un experimento de un factor se obtienen medias u observaciones para  $a$  grupos independientes de muestras. Aquí el número de medidas de cada grupo es  $b$ , en otras palabras, se habla de  $a$  tratamientos cada uno de los cuales tiene  $b$  repeticiones o réplicas. Los resultados de los experimentos de un factor se pueden representar en una tabla con  $a$  columnas y  $b$  filas.

Para esta investigación, los tratamientos se refieren al tamaño de partícula utilizado en el proceso de secado y las observaciones se refieren a los tiempos de secado de las muestras.

Tabla VI. **Clasificación simple para el análisis de varianza**

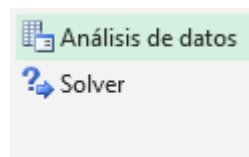
Tratamiento 1	Tratamiento 2	...	Tratamiento a
X11	X12		X1a
X21	X22		X2a
...	...		...
Xb1	Xb2		Xba

Fuente: elaboración propia.

### 3.8.2. **Procesamiento de los datos**

- Distribuir los datos obtenidos experimentalmente en una tabla con el modelo de la tabla VI.
- Instalar los complementos de Microsoft Excel 2013 llamados: Herramientas para análisis y Solver.
- Una vez instalados dirigirse al menú datos y buscar en la parte derecha del menú la opción Análisis de datos, se hace clic sobre ella, debería lucir como se muestra a continuación:

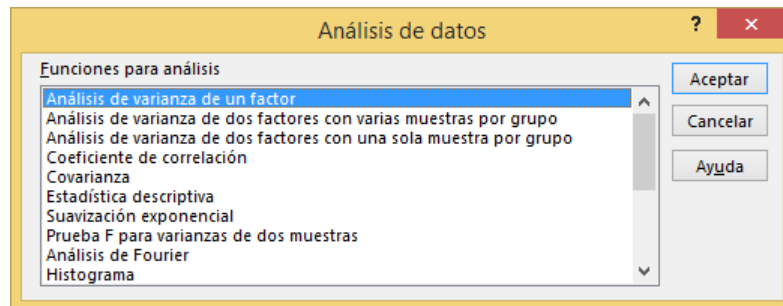
Figura 8. **Análisis de datos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint.

- Al hacer clic se muestra la siguiente ventana, se selecciona la opción denominada Análisis de varianza de un factor y luego se hace clic en aceptar:

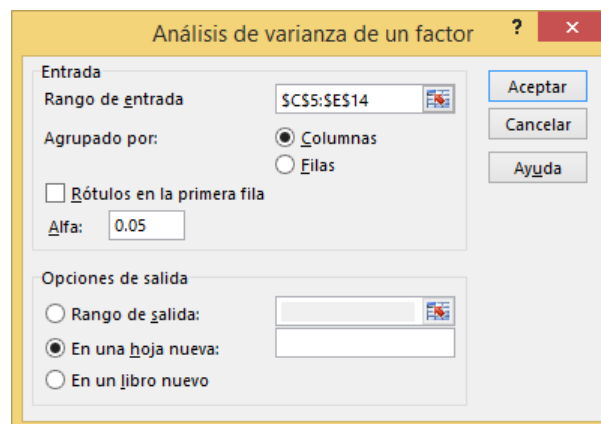
Figura 9. Selección de análisis



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint.

- Una vez realizado el paso anterior debería mostrarse la ventana a continuación:

Figura 10. Selección de parámetros



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Paint.



- En Rango de entrada se selecciona los datos que se obtuvieron en el experimento (elementos  $X_{ij}$  de la tabla VI). El valor de alfa lo determina el experimentador y se refiere al grado de confianza. En este caso se trabajó con un alfa de 5 % para un grado de confianza del 95 %.
- Debido a que se trabajó los datos obtenidos distribuidos en columnas, en Agrupados por: se selecciona columnas.
- El resto de opciones las selecciona el usuario a su gusto. En este caso se dejaron las opciones que se muestran por defecto.
- Si los pasos anteriores se realizaron correctamente los resultados se mostrarán en una hoja nueva distribuidos en una tabla. La interpretación y conclusión se explicará en la sección siguiente.

### **3.8.3. Resultados e interpretación del análisis de varianza de un factor**

Como resultado de los pasos anteriores el programa Microsoft Excel 2013 devolverá 2 tablas: una es el resumen, el cual se muestra y explica a continuación:

Tabla VII. **Resumen del análisis de varianza de un factor obtenido por medio del programa Microsoft Excel 2013**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
<b>Columna 1</b>	10	69,5	6,95	0,4000
<b>Columna 2</b>	10	71,3	7,13	1,1222
<b>Columna 3</b>	10	53,0	5,30	0,6777

Fuente: elaboración propia.

Los campos nombrados en la tabla tienen los siguientes significados para el estudio realizado:

- **Grupos:** hace referencia a los tratamientos realizados en el experimento, para el estudio cada tratamiento se refiere a un lote o tamaño de partícula.
- **Columna:** se refiere al lote o tamaño de partícula trabajado (se trabajó un tamaño de partícula por lote).
- **Cuenta:** el número de observaciones realizadas por cada tratamiento.
- **Suma:** la suma de las observaciones para cada tratamiento.
- **Promedio:** el promedio de las observaciones para cada tratamiento.
- **Varianza:** la variación que existe entre las observaciones de cada lote.

La segunda tabla devuelta por el programa es el análisis de varianza. Este permite aceptar o rechazar las hipótesis planteadas, estas hipótesis se muestran

en la siguiente sección. A continuación se muestra la tabla del análisis de varianza y su explicación:

Tabla VIII. **Tabla de análisis de varianza obtenida por medio del programa Microsoft Excel 2013**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<b>Entre grupos</b>	20,34	2	10,17	13,87	7,17E-05	3,35
<b>Dentro de los grupos</b>	19,80	27	0,73			
<b>Total</b>	40,14	29				

Fuente: elaboración propia.

Los campos nombrados en la tabla tienen los siguientes significados:

- Origen de las variaciones: se refiere a la forma como se evaluó las variaciones, ya sea entre grupos o dentro de los grupos.
- Entre grupos: la variación que se dio entre los grupos u tratamientos trabajados.
- Dentro de los grupos: la variación que se dio entre los grupos u tratamientos trabajados.
- Total: es la sumatoria entre la suma de cuadrados entre grupos y la suma de cuadrados entre los grupos.

- Suma de cuadrados: se utiliza para medir la variación entre los datos, pretende saber qué tan dispersos están los datos en conjunto.
- Grados de libertad: entre grupos son “a-1” donde a es la cantidad de grupos o tratamientos. Dentro de los grupos son “a –n” donde n se refiere al número de observaciones.
- Promedio de los cuadrados: mide la variación, se emplea para obtener el valor de F.
- F: se calcula con las medias de los cuadrados, sirve para probar la hipótesis nula  $H_0$ .
- Valor crítico para F: valor de  $F_{0.95}$  teórico, sirve de comparación con el valor de F para aceptar o rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

#### 3.8.4. Análisis de la hipótesis

Se realizó una comparación entre  $F$  y el valor crítico de  $F$ , con base en la siguiente evaluación:

Comparación entre  $F$  y  $F_{0.95}$ :

- Si  $F > F_{0.95}$  : Se rechaza la hipótesis nula de medias iguales  $H_0$ , por tanto se concluye que el tamaño de partícula afecta significativamente el tiempo de secado y se procede a realizar la prueba de Tukey.
- Si  $F < F_{0.95}$  : No se rechaza la hipótesis nula de medias iguales  $H_0$ , por lo tanto se concluye que el tamaño de partícula no afecta significativamente el tiempo de secado.

### 3.8.5. Prueba de Tukey

Cuando se rechaza la hipótesis nula se utiliza la prueba de Tukey para determinar cuál o cuáles grupos varían de forma significativa, con la media de los demás grupos. Para este cálculo se procede de la forma siguiente:

- Basándose en los datos obtenidos en la tabla de Anova lazada por el programa Microsoft Excel (véase tabla VIII). Se obtienen los grados de libertad y con base en estos se obtiene el multiplicador  $q_\alpha$  para un grado de confiabilidad de 0,05. Esto para encontrar dicho valor se busca en las filas los grados de libertad (si no están los grados de libertad requeridos para el cálculo se utiliza el siguiente valor mas cercano) y en las columnas el número de grupos.
- Cálculo del cuadrado del error medio: para este cálculo se sigue la fórmula siguiente:

$$MSE = \frac{\text{Suma de cuadrados dentro de los grupos}}{\text{Grados de libertad}}$$

- Cálculo de la diferencia honestamente significativa: este valor servirá para comparar y determinar cuál o cuáles grupos varían de forma significativa.

$$HSD = q_\alpha \sqrt{\frac{MSE}{\text{Tamaño de muestra}}}$$

- Comparación de muestras: se procede a sacar la diferencia entre cada media y se compara con el valor de HSD. Se considera una variación significativa cuando la diferencia entre medias es mayor o igual al HSD.

Tabla IX. **Datos obtenidos para la prueba de Tukey**

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>Tamaño de muestra</b>	10,00
<b>Multiplicador</b>	3,49
<b>MSE</b>	0,73
<b>HSD</b>	<b>0,95</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Comparación de medias**

<b>Tamaño de partícula</b>	<b>7 mm</b>	<b>5 mm</b>	<b>3 mm</b>	
<b>7mm</b>		0,18	<b>1,65</b>	
<b>5mm</b>			<b>1,83</b>	
<b>3mm</b>				
<b>HSD</b>				<b>0,95</b>

Fuente: elaboración propia.

Del cuadro anterior se puede concluir lo siguiente:

- Como la diferencia de medias entre los tamaños de partícula: 5 mm y 7 mm es menor que HSD se concluye que no existe una diferencia significativa entre los tiempos de secado de estos tamaños de partícula.
- Como la diferencia de medias entre los tamaños de partícula: 3 mm y 7 mm es mayor que HSD se concluye que sí existe una diferencia significativa entre los tiempos de secado de estos tamaños de partícula.

- Como la diferencia de medias entre los tamaños de partícula: 3 mm y 5 mm es mayor que HSD se concluye que sí existe una diferencia significativa entre los tiempos de secado de estos tamaños de partícula.

Tabla XI. **Comparación de medias obtenidas a partir de los datos obtenidos en las encuestas**

Muestra	920	911	590	493
920		<b>0,57</b>	0,00	0,13
911			<b>0,57</b>	<b>0,70</b>
590				0,13
493				
Diferencia honestamente significativa (HSE)				<b>0,56</b>

Fuente: elaboración propia.

Basándose en los resultados presentados en la tabla LIV se concluye lo siguiente:

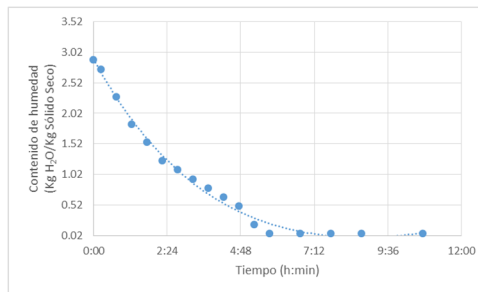
- Las medias obtenidas en las muestras 920 (70 % de harina de banano), 590 (50 % de harina de banano) y 493 (40 % de harina de banano) no presentan una diferencia significativa entre los valores de sus medias.
- La media obtenida en la muestra 911 (60 % de harina de banano) presenta una diferencia significativa comparando su valor medio con el valor de las demás muestras. Por tanto se considera la más aceptada por los participantes de la encuesta.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Gráficas lote 1, rodajas de 7 mm de ancho

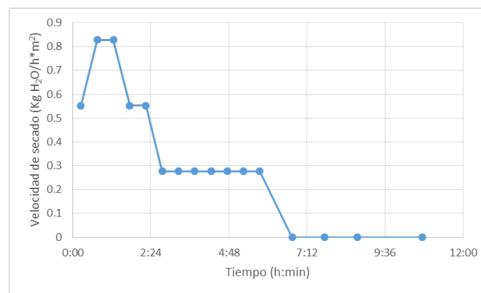
A continuación se presentan las gráficas del lote 1.

Figura 11. **7mm, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

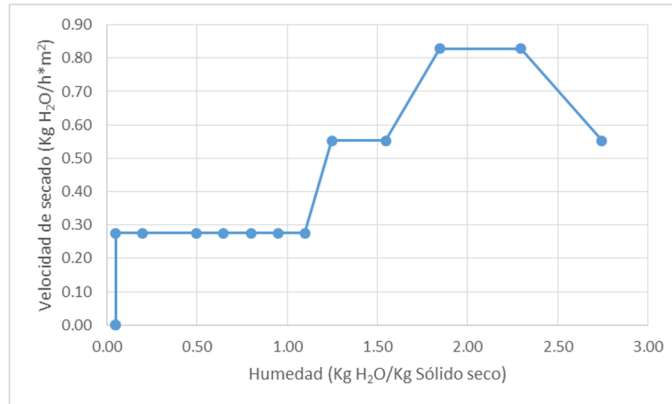
Figura 12. **7 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

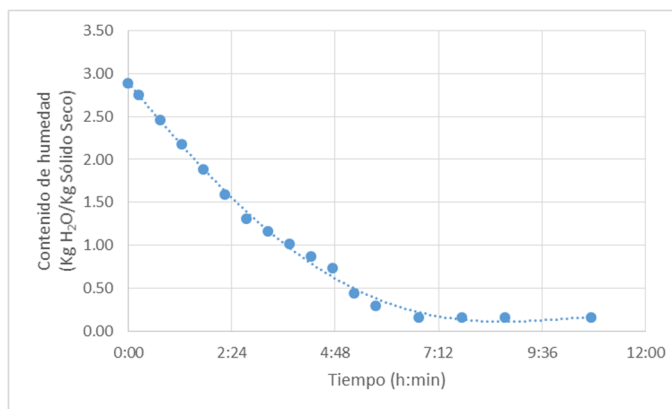


Figura 13. **7 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



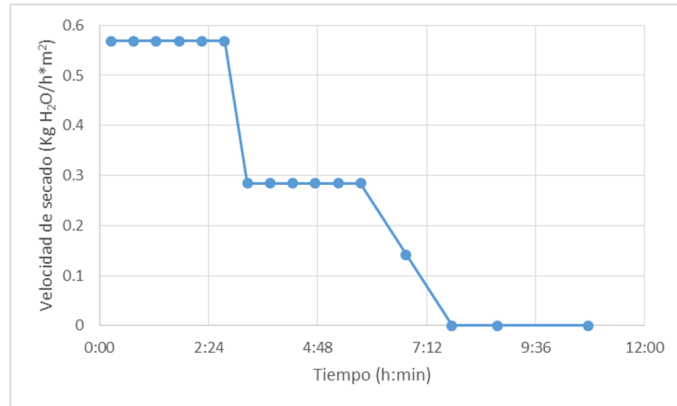
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **7 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



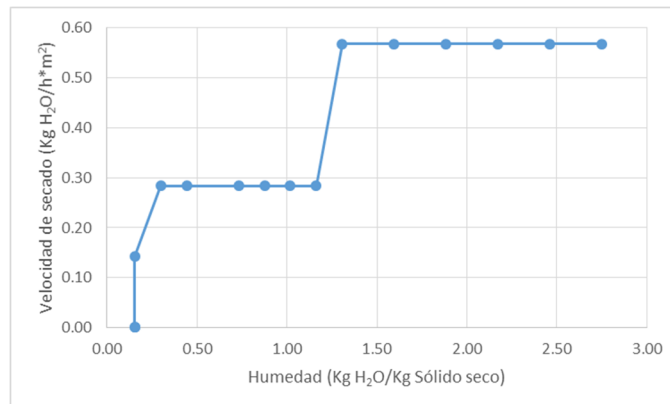
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **7 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo**



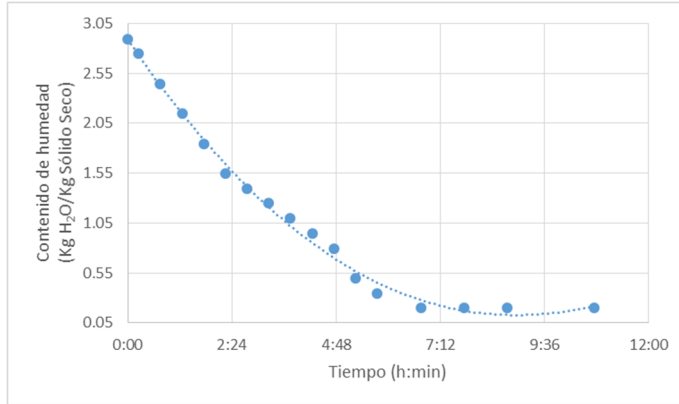
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **7 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



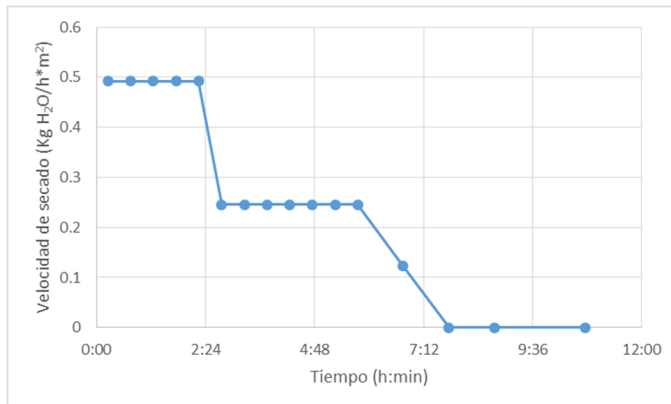
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **7 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



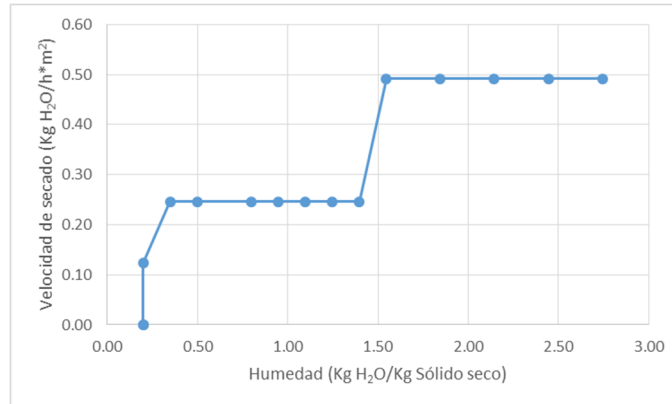
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **7 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo**



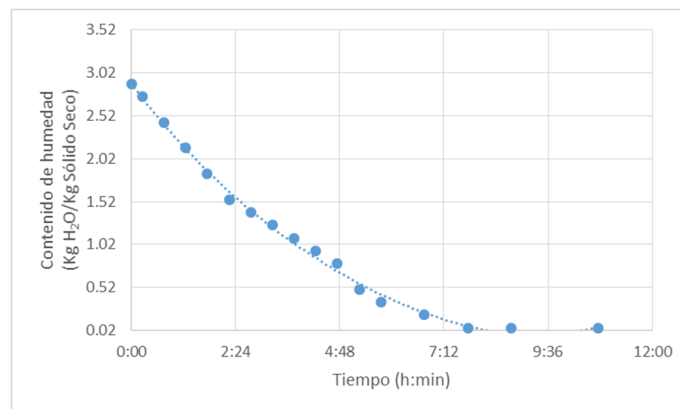
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **7 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



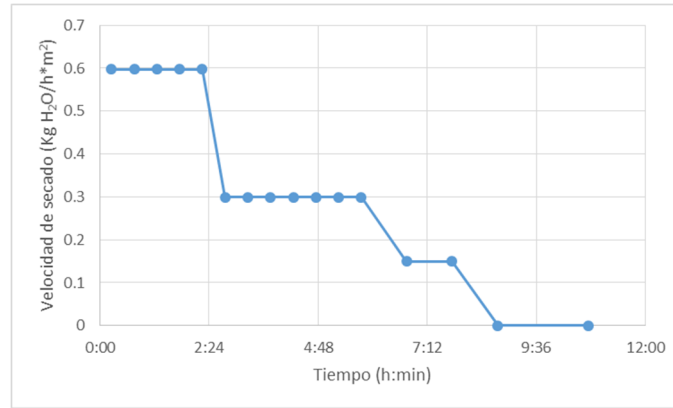
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **7 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



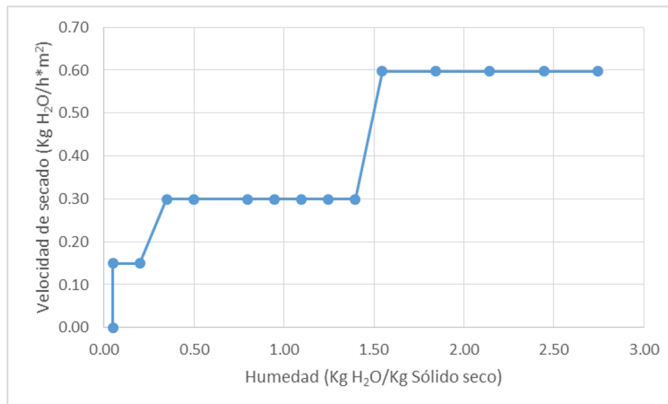
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **7 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo**



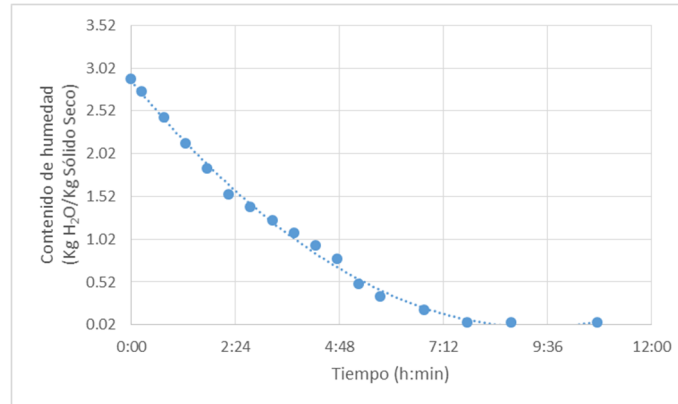
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **7 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



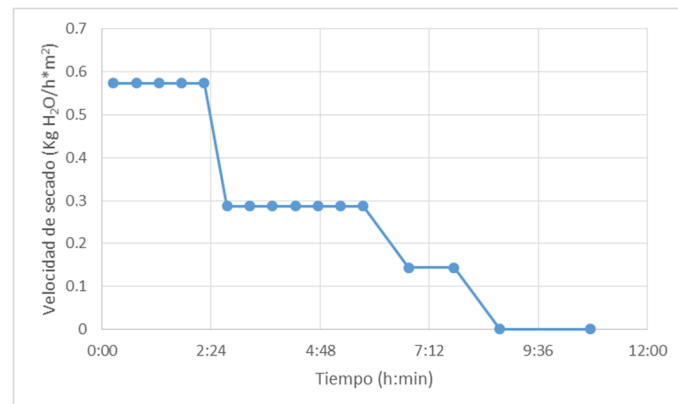
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **7 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



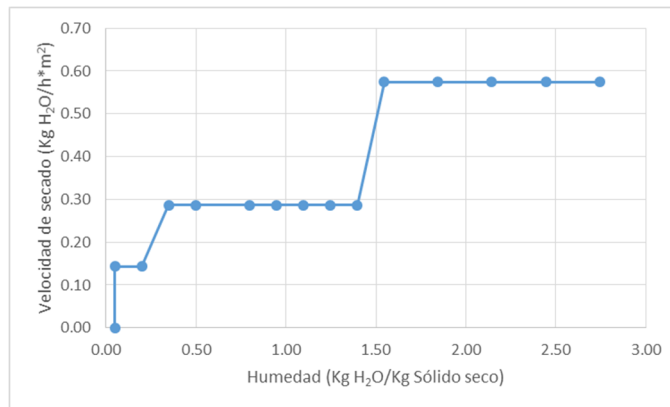
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **7 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo**



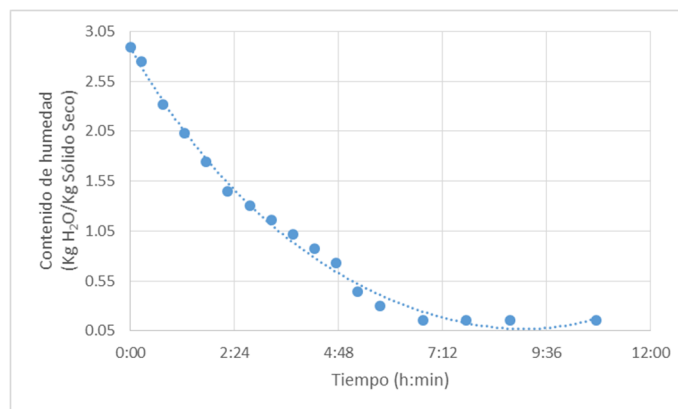
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **7 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



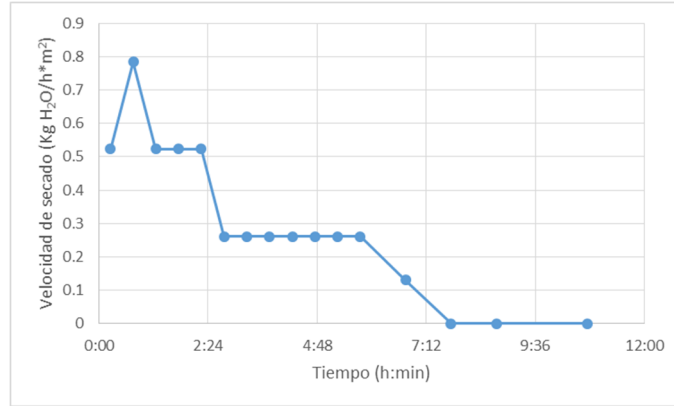
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **7 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



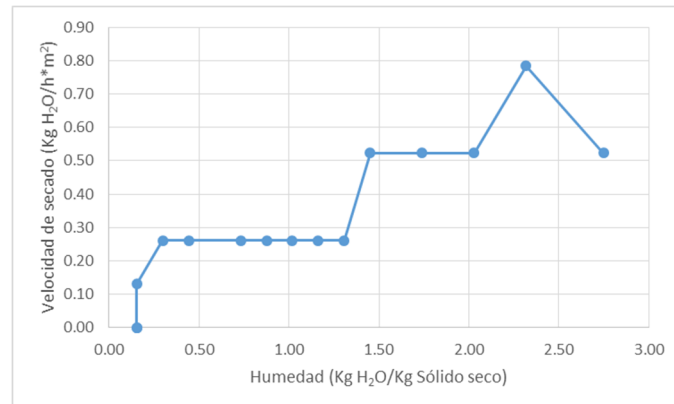
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **7 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

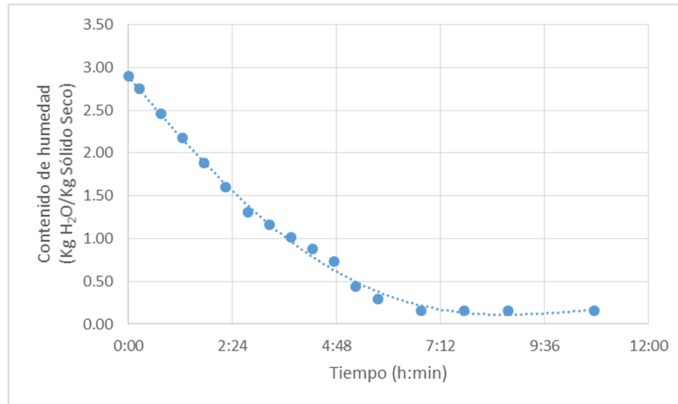
Figura 28. **7 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



Fuente: elaboración propia.

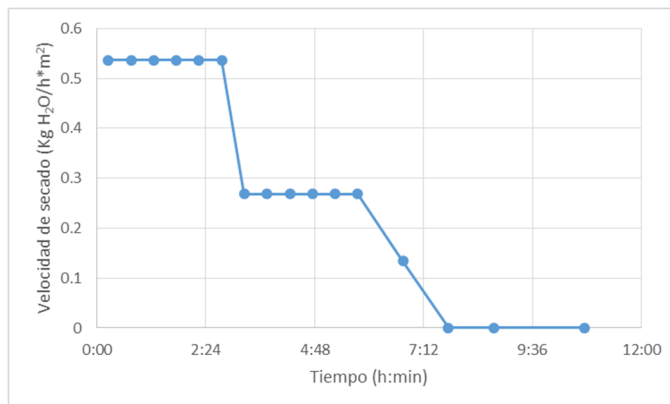


Figura 29. **7 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



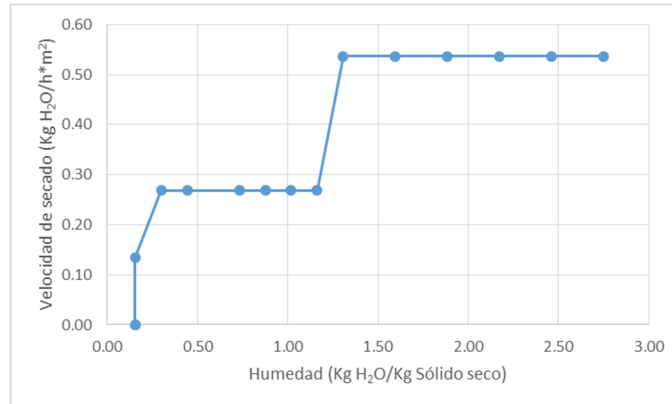
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **7 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo**



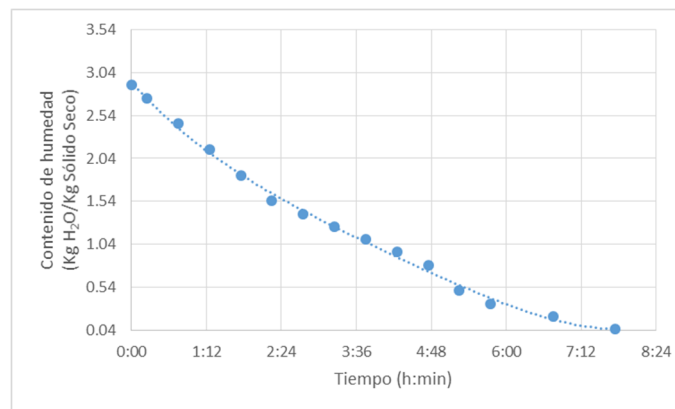
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **7 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



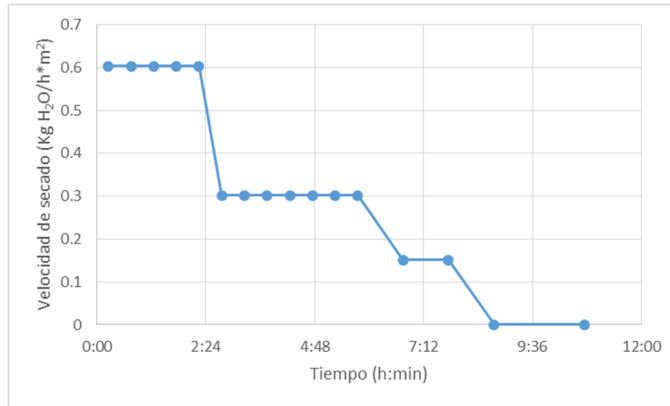
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **7 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



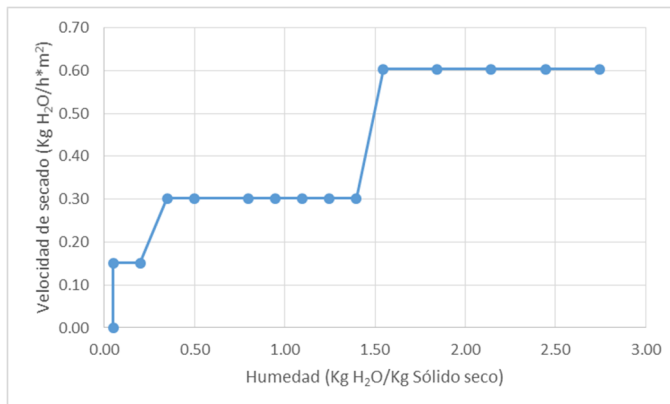
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **7 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo**



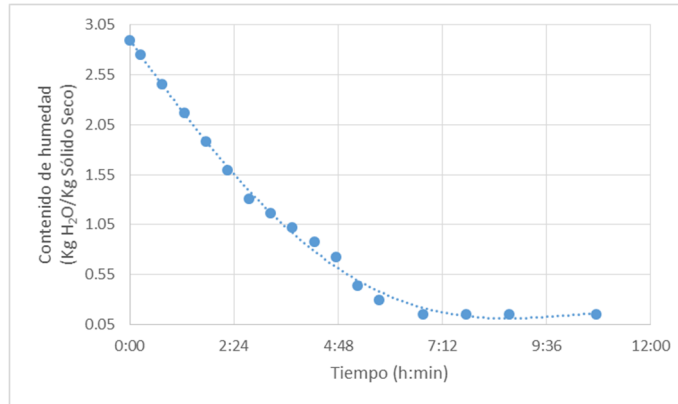
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **7 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



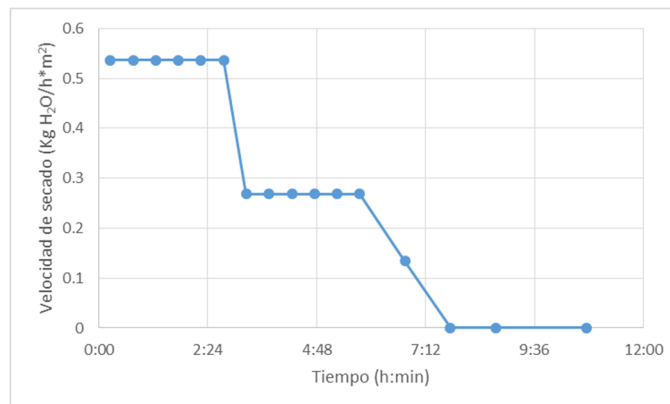
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **7 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



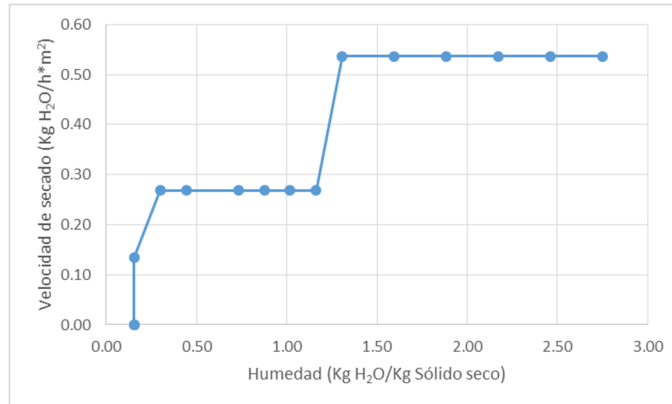
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **7 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo**



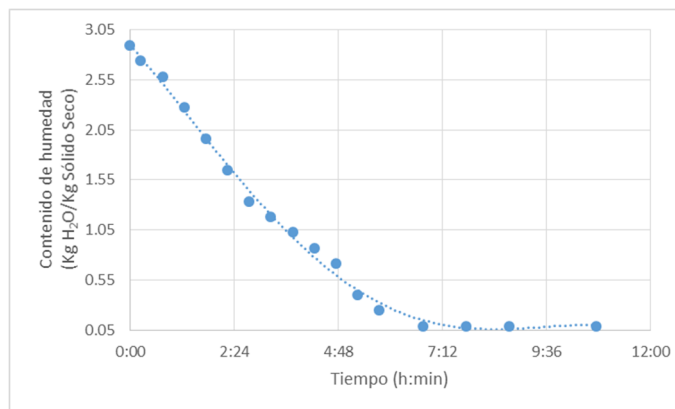
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **7 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



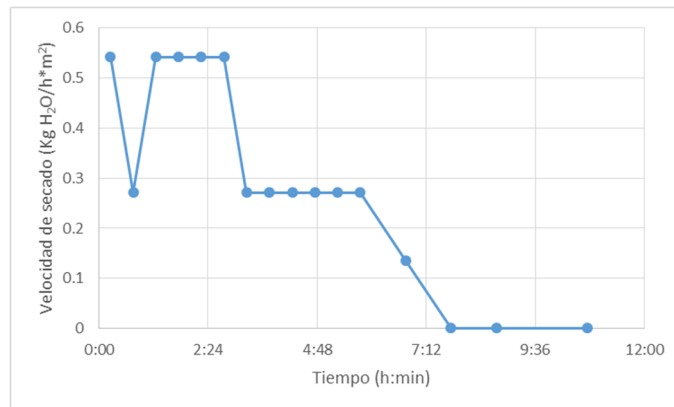
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **7 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



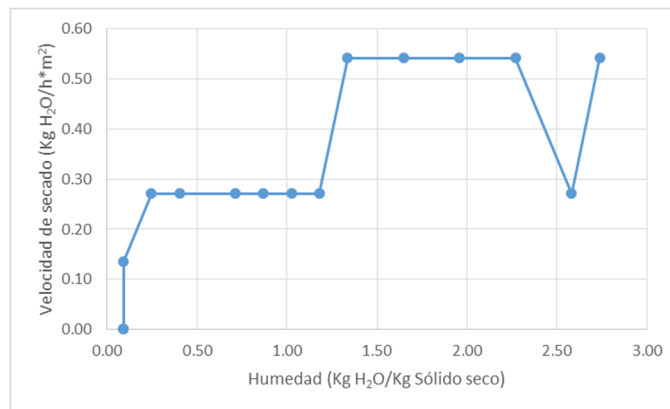
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **7 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **7 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**

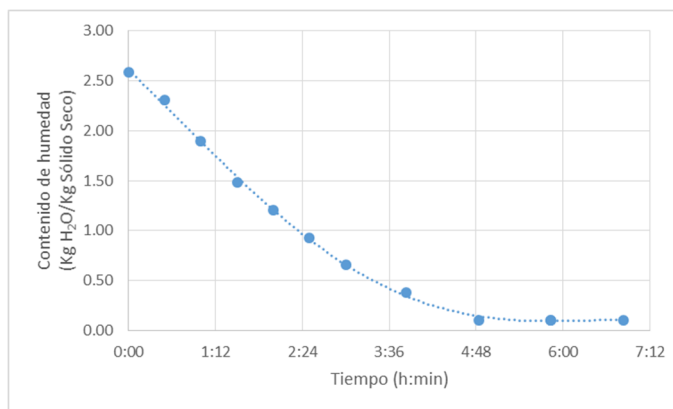


Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Gráficas lote 2, rodajas de 5 mm de espesor

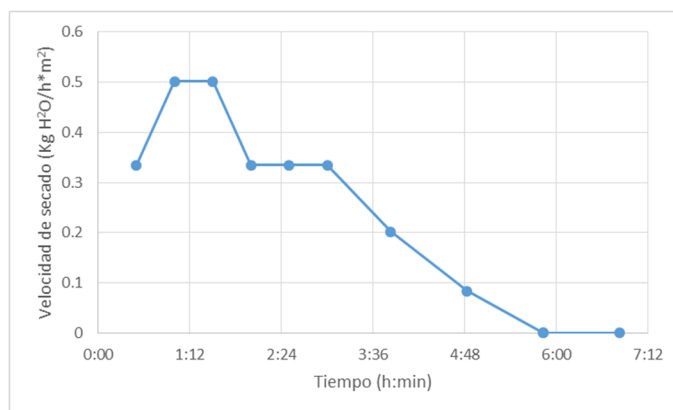
A continuación se presentan las gráficas del lote 2.

Figura 41. **5 mm de espesor, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



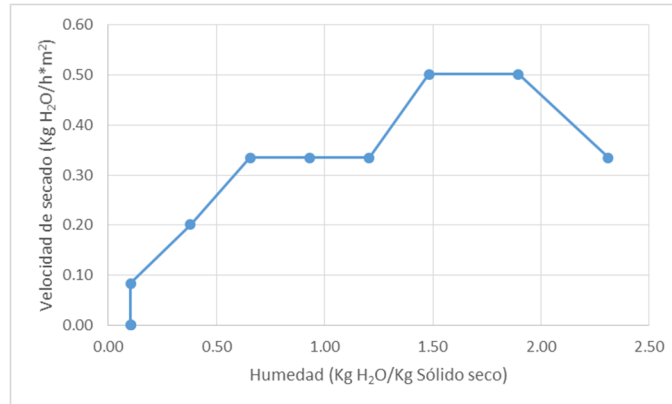
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **5 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo**



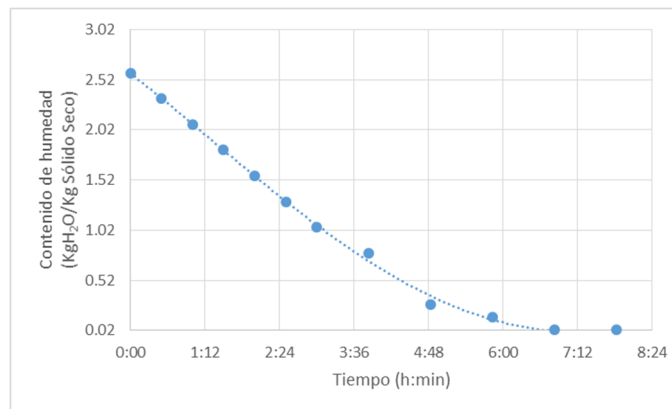
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **5 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



Fuente: elaboración propia.

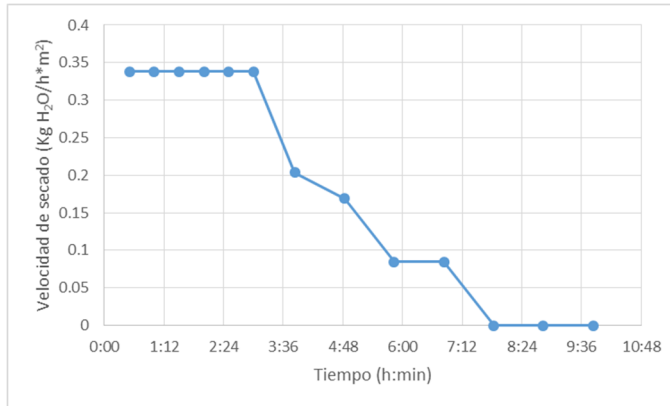
Figura 44. **5 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

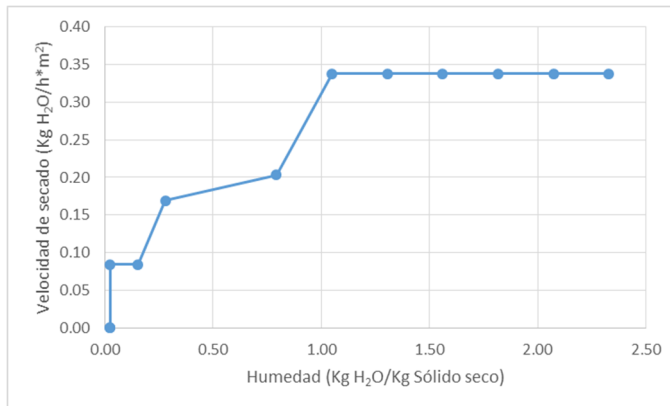


Figura 45. **5 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo**



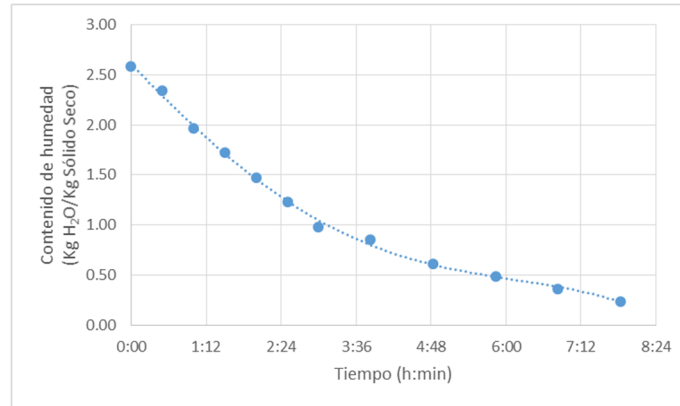
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **5 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



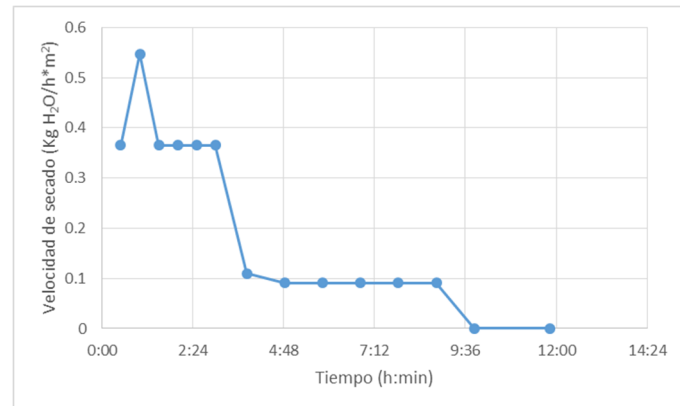
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **5 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



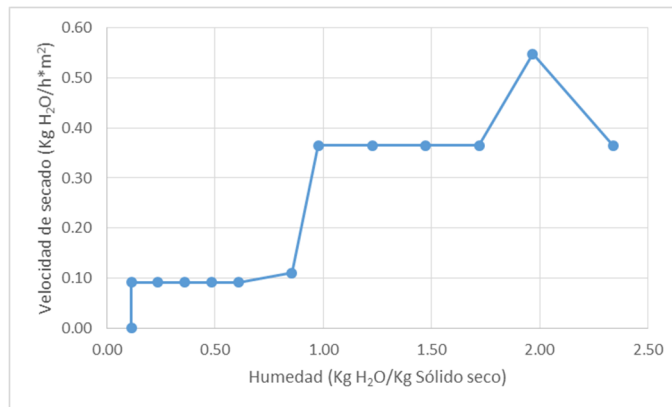
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **5 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo**



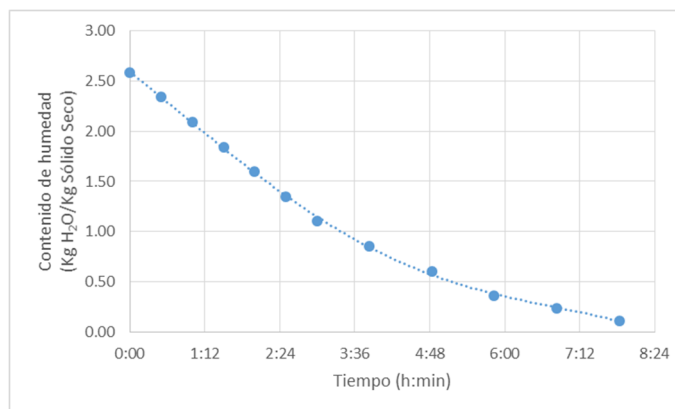
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **5 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



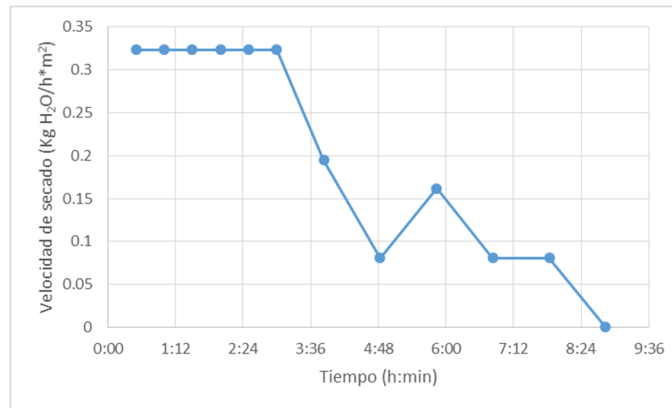
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **5 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



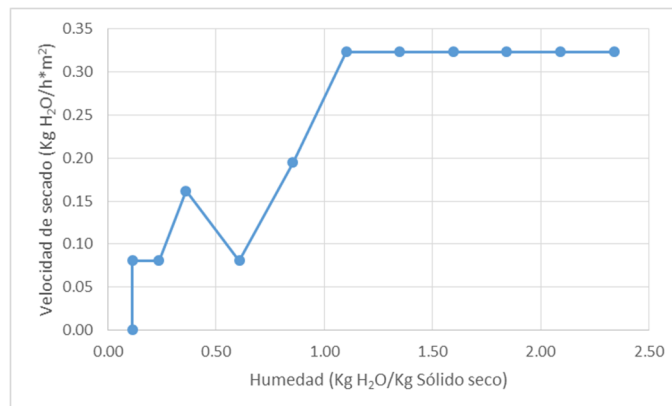
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **5 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo**



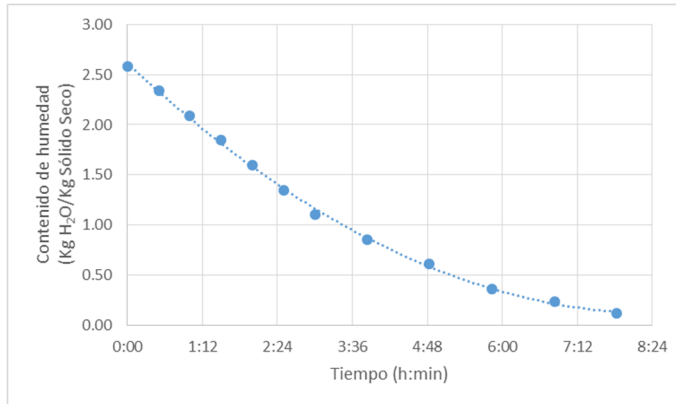
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **5 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



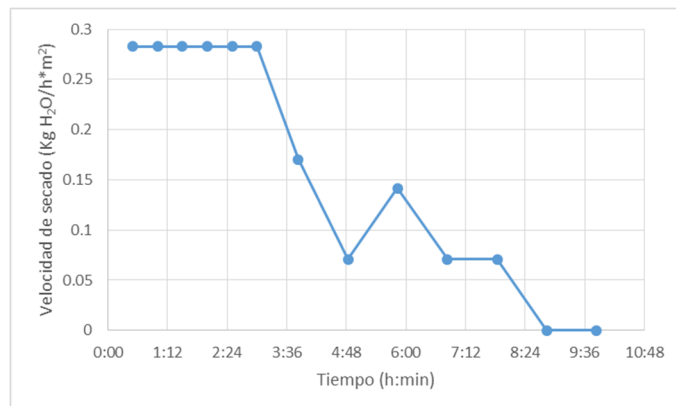
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **5 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



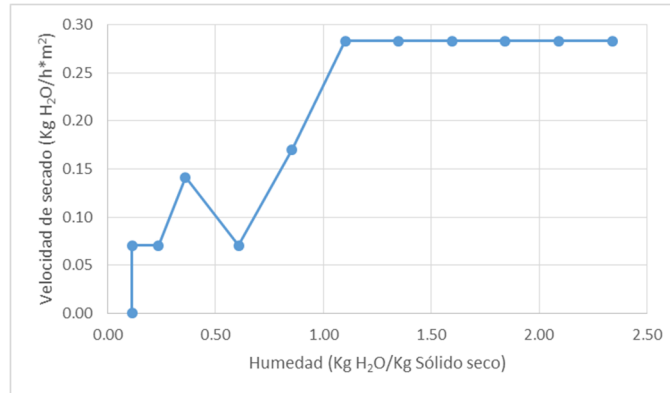
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **5 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo**



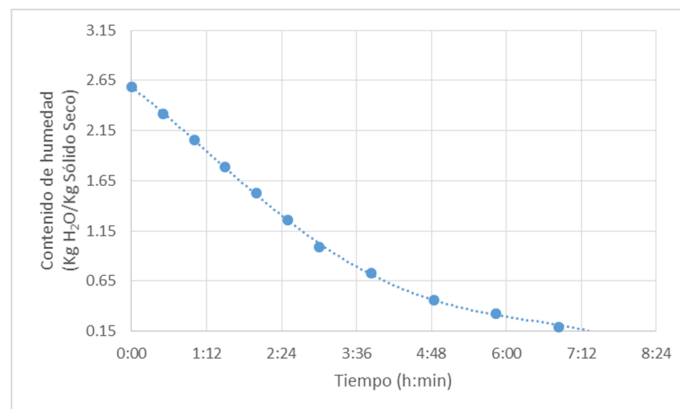
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **5 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



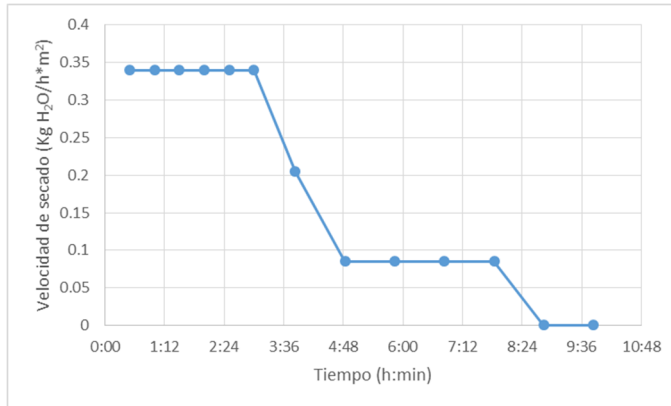
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **5 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



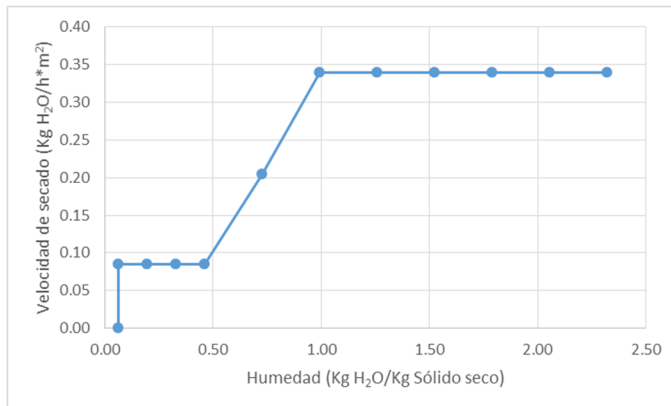
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **5 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo**



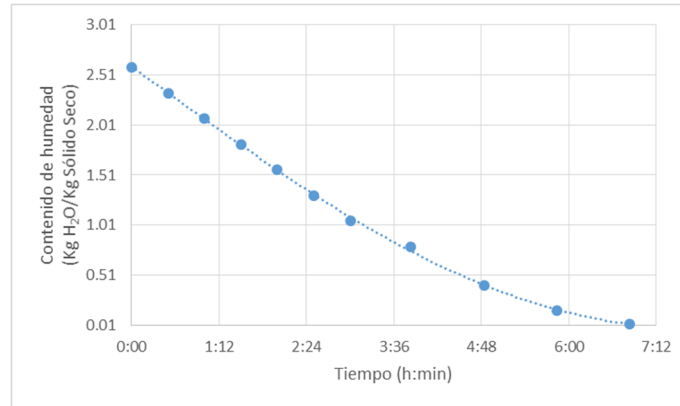
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **5 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



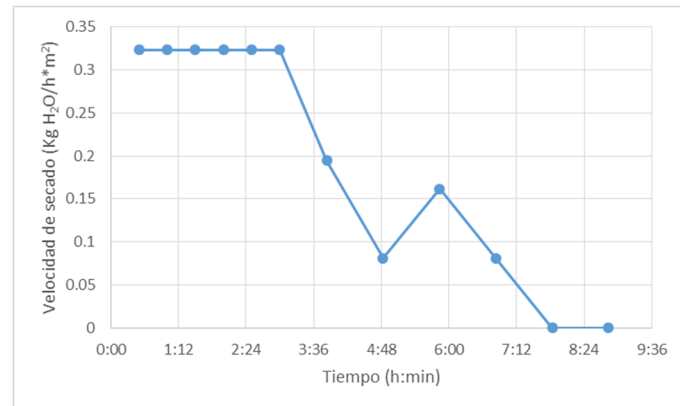
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **5 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

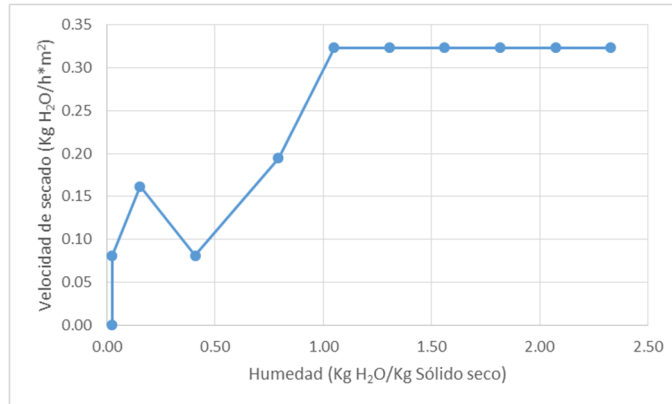
Figura 60. **5 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

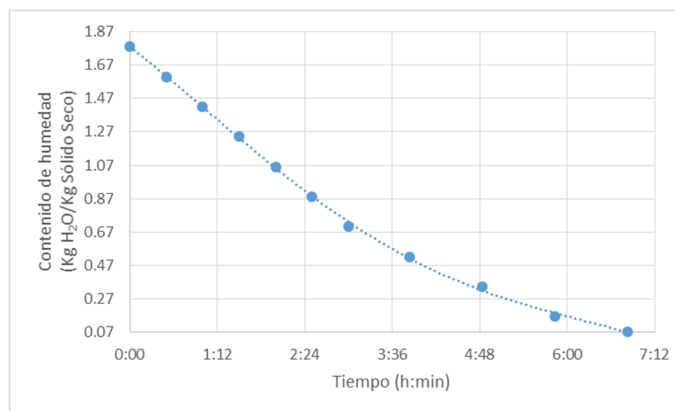


Figura 61. **5 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



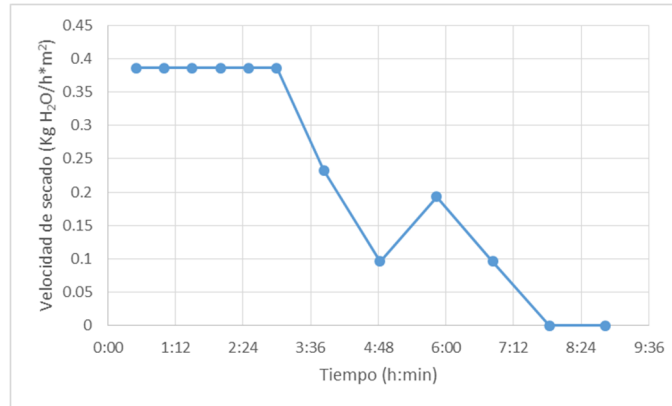
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **5 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



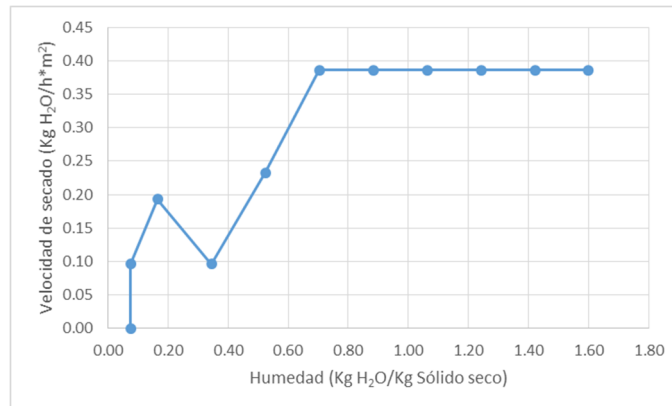
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **5 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo**



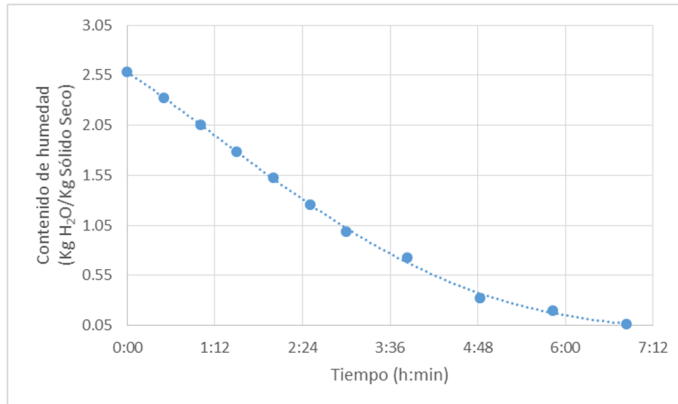
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **5 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



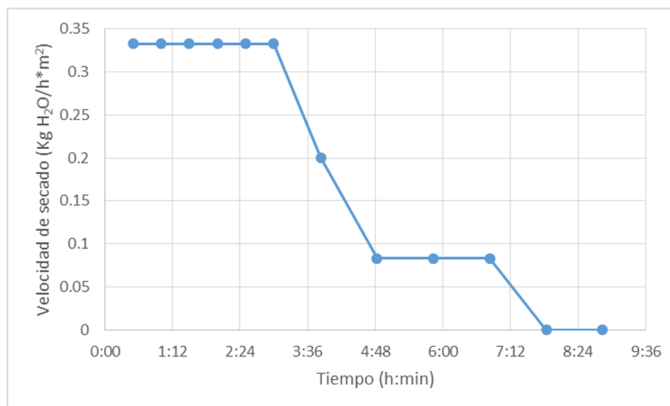
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **5 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



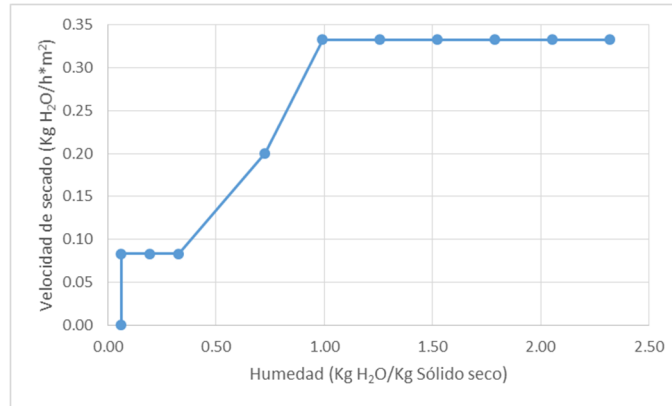
Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **5 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo**



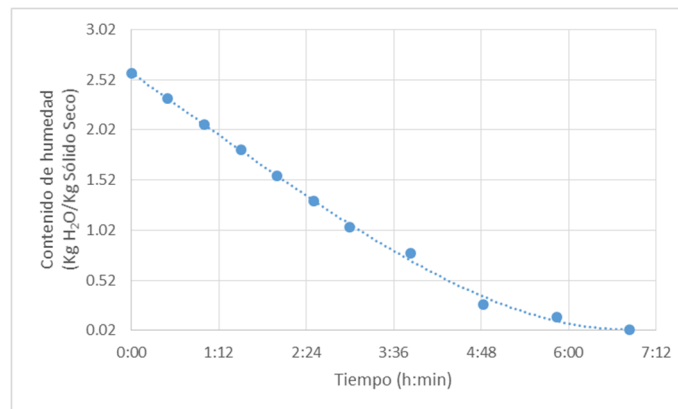
Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **5 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



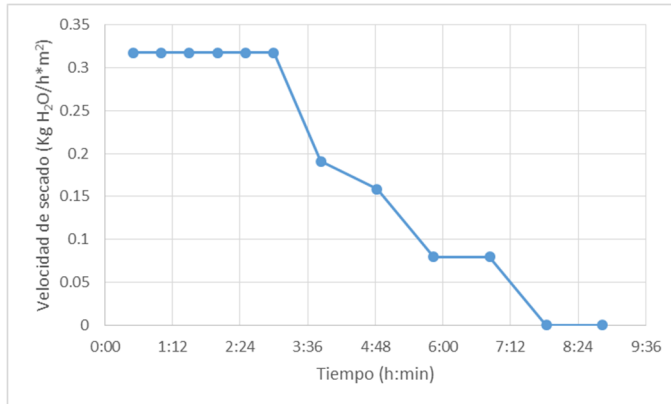
Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **5 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



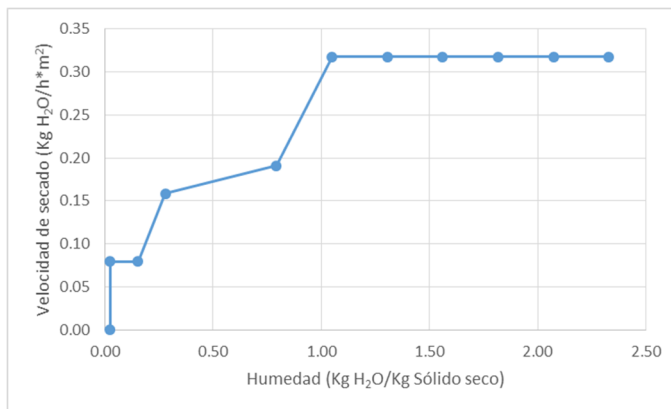
Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **5 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **5 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**

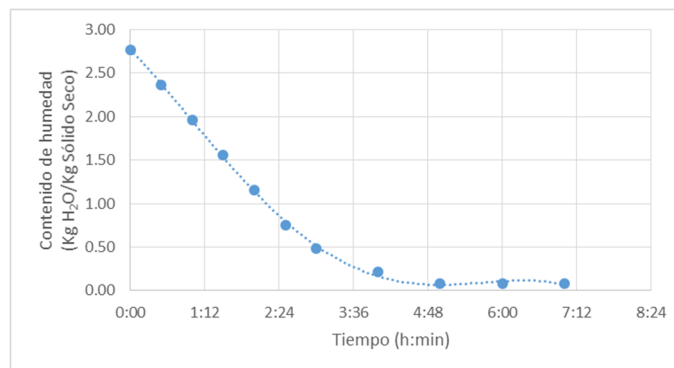


Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Gráficas lote 3, rodajas de 3 mm de espesor

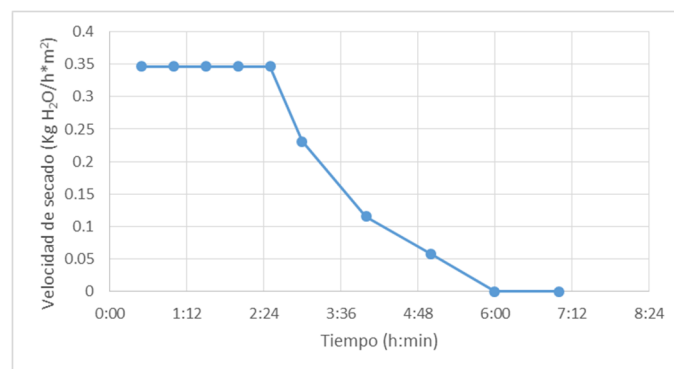
A continuación se presentan las gráficas del lote 3.

Figura 71. **3 mm de espesor, bandeja 1: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



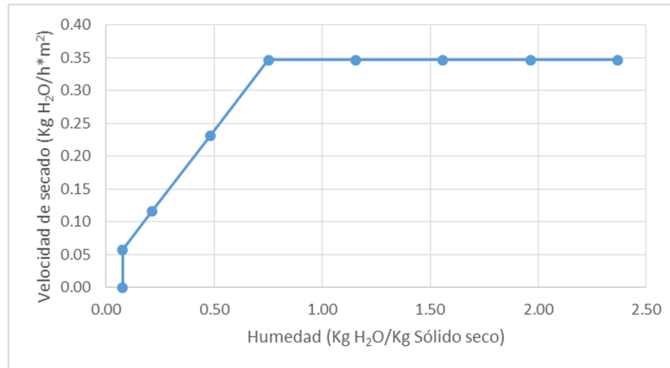
Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **3 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. tiempo**



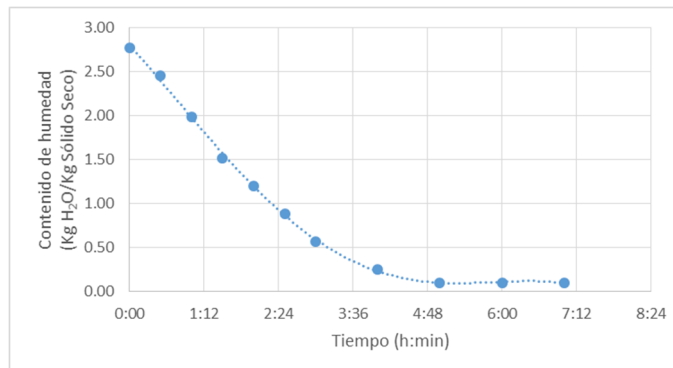
Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **3 mm de espesor, bandeja 1: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



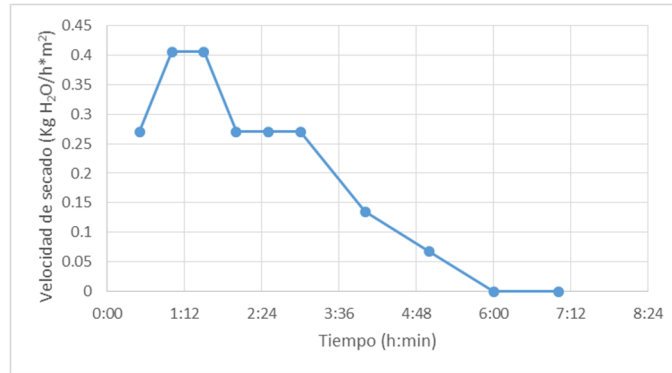
Fuente: elaboración propia.

Figura 74. **3 mm de espesor, bandeja 2: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



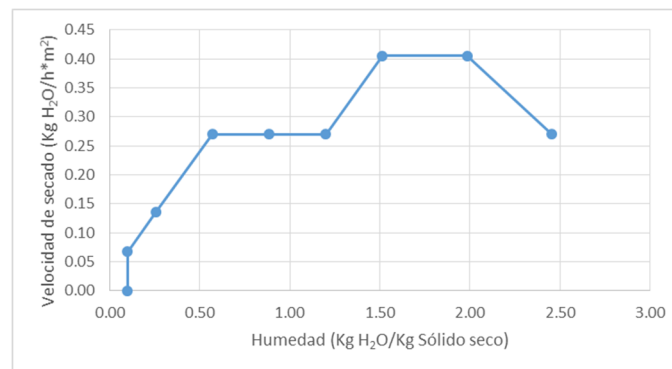
Fuente: elaboración propia.

Figura 75. **3 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

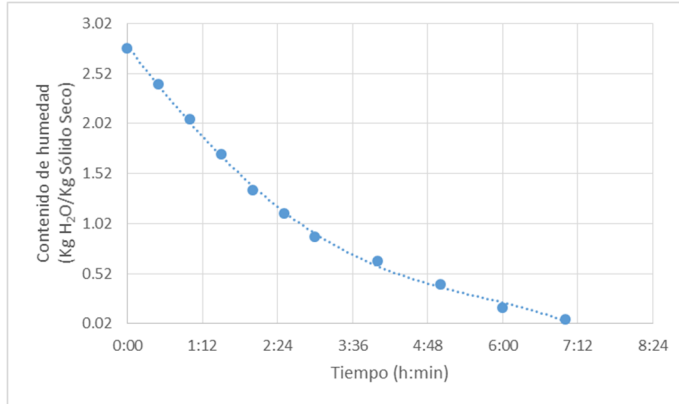
Figura 76. **3 mm de espesor, bandeja 2: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



Fuente: elaboración propia.

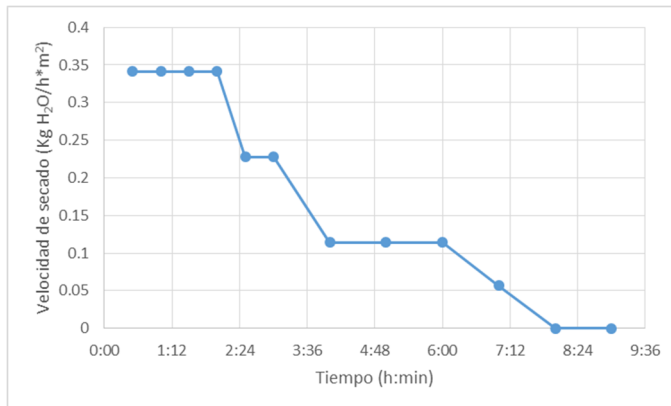


Figura 77. **3 mm de espesor, bandeja 3: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



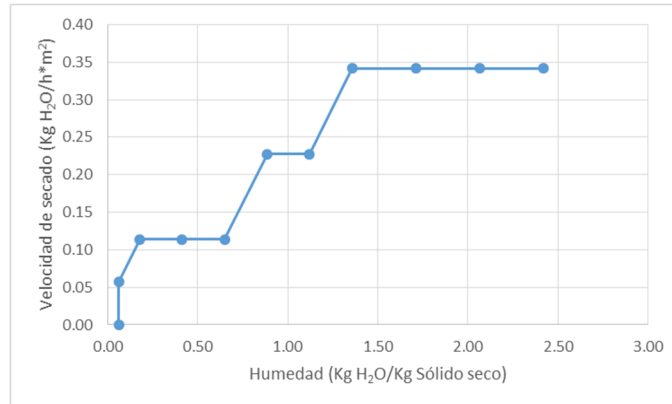
Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **3 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. tiempo**



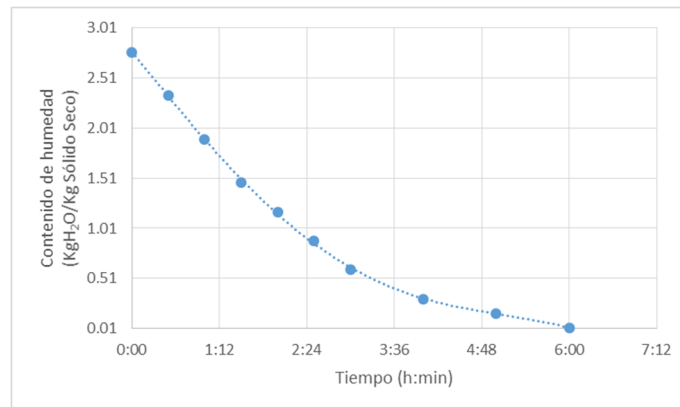
Fuente: elaboración propia.

Figura 79. **3 mm de espesor, bandeja 3: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



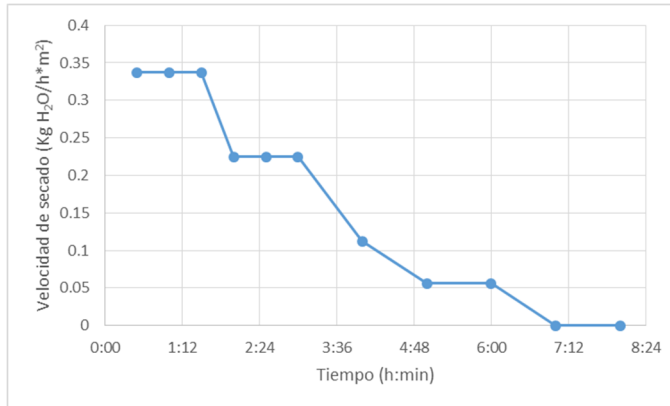
Fuente: elaboración propia.

Figura 80. **3 mm de espesor, bandeja 4: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



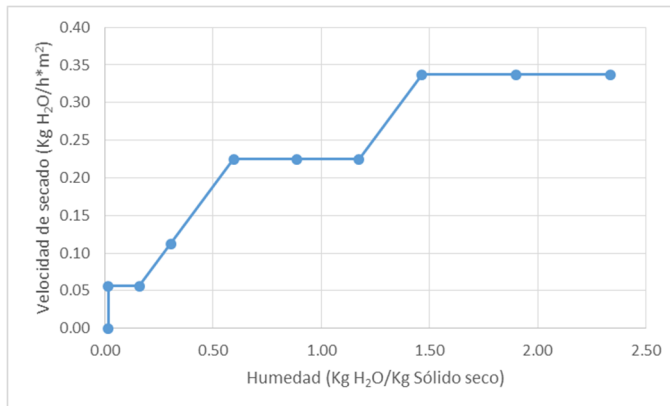
Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **3 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. tiempo**



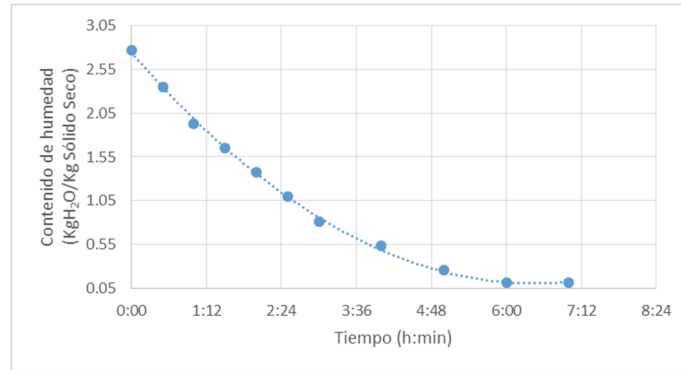
Fuente: elaboración propia.

Figura 82. **3 mm de espesor, bandeja 4: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



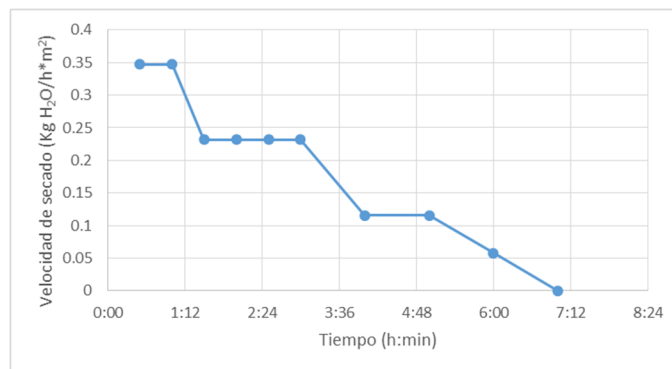
Fuente: elaboración propia.

Figura 83. **3 mm de espesor, bandeja 5: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



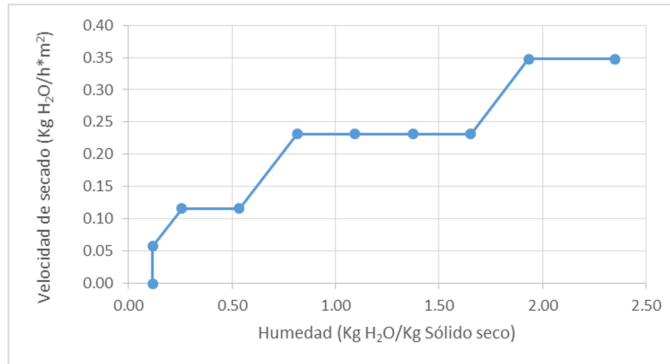
Fuente: elaboración propia.

Figura 84. **3 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. tiempo**



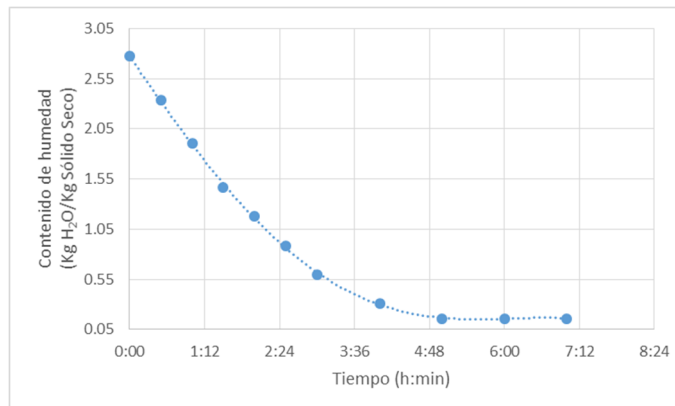
Fuente: elaboración propia.

Figura 85. **3 mm de espesor, bandeja 5: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



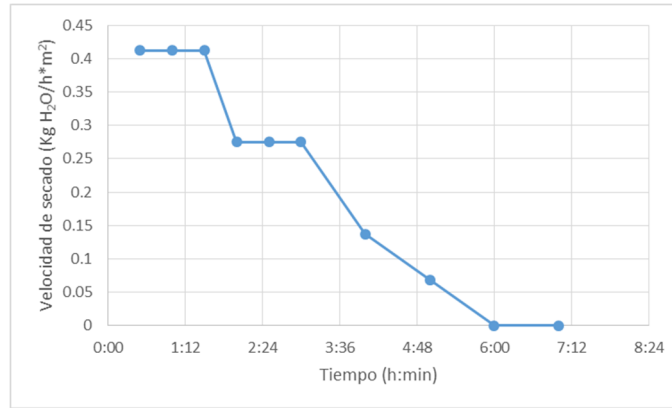
Fuente: elaboración propia.

Figura 86. **3 mm de espesor, bandeja 6: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



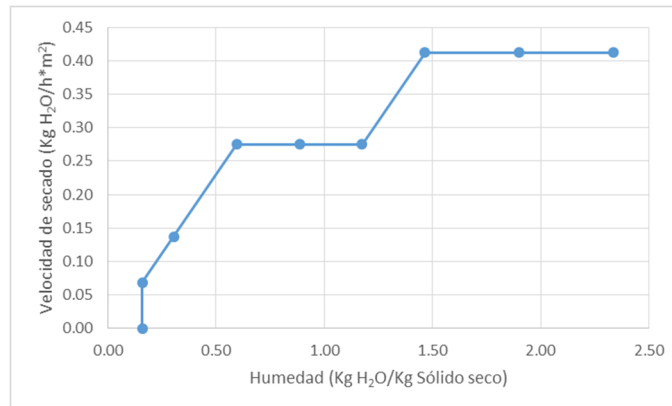
Fuente: elaboración propia.

Figura 87. **3 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. tiempo**



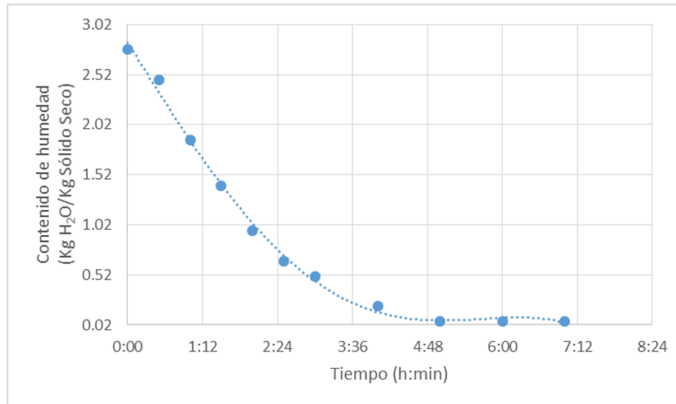
Fuente: elaboración propia.

Figura 88. **3 mm de espesor, bandeja 6: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



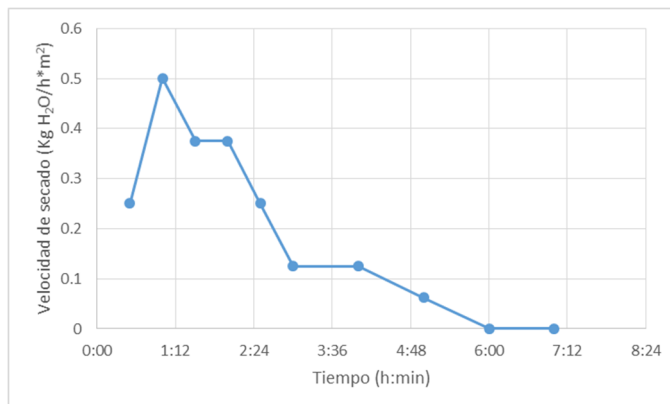
Fuente: elaboración propia.

Figura 89. **3 mm de espesor, bandeja 7: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



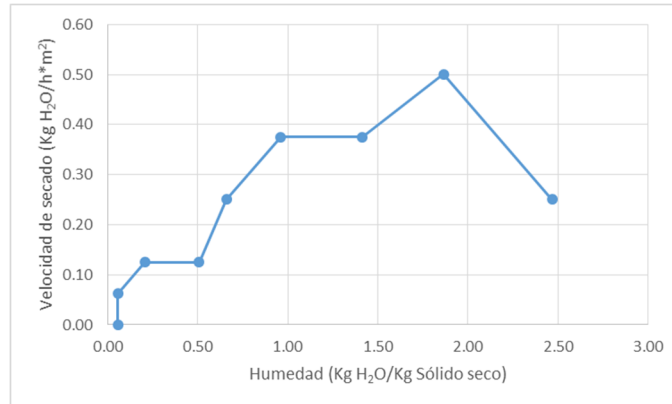
Fuente: elaboración propia.

Figura 90. **3 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. tiempo**



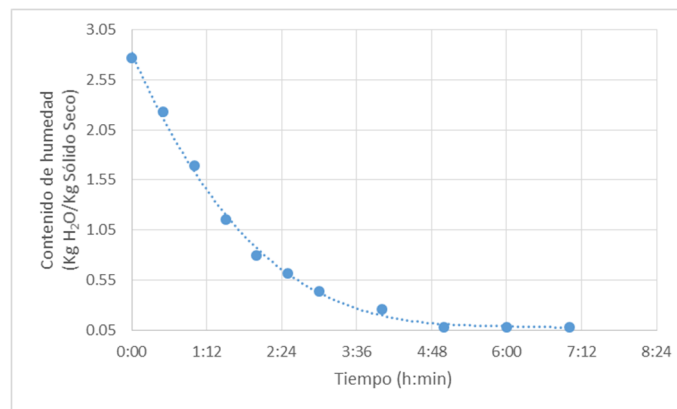
Fuente: elaboración propia.

Figura 91. **3 mm de espesor, bandeja 7: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



Fuente: elaboración propia.

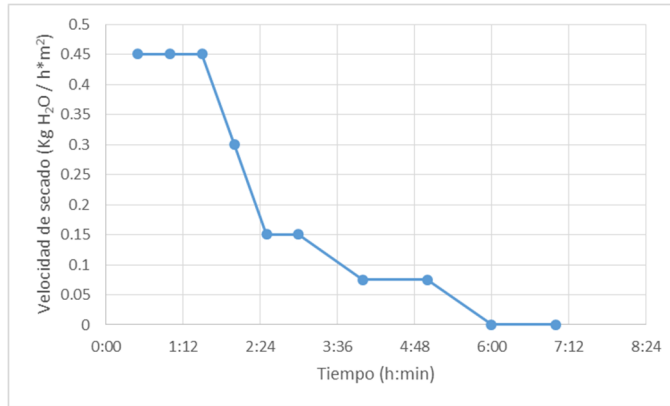
Figura 92. **3 mm de espesor, bandeja 8: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

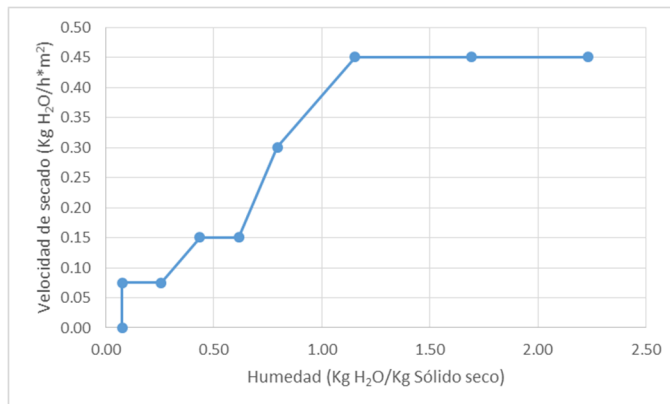


Figura 93. **3 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. tiempo**



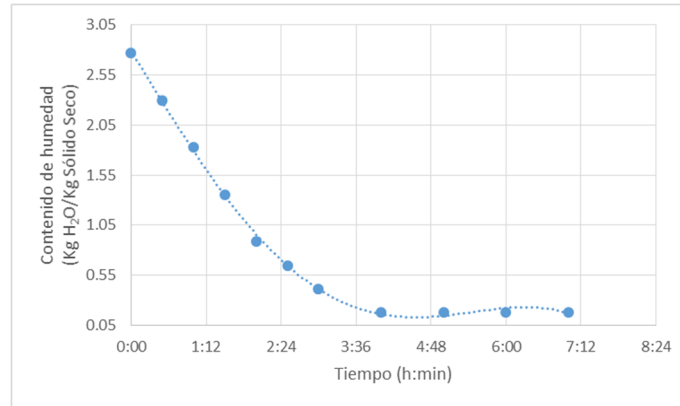
Fuente: elaboración propia.

Figura 94. **3 mm de espesor, bandeja 8: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



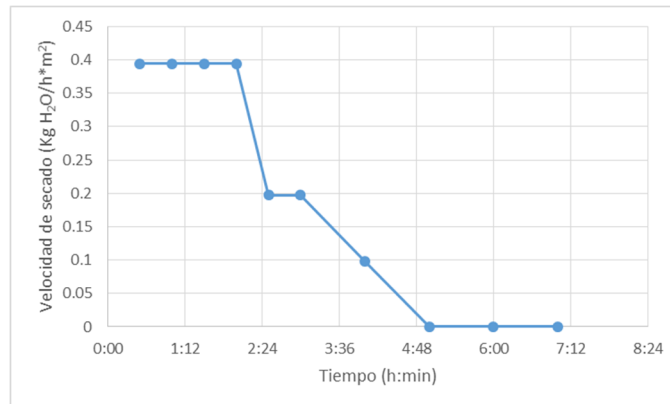
Fuente: elaboración propia.

Figura 95. **3 mm de espesor, bandeja 9: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



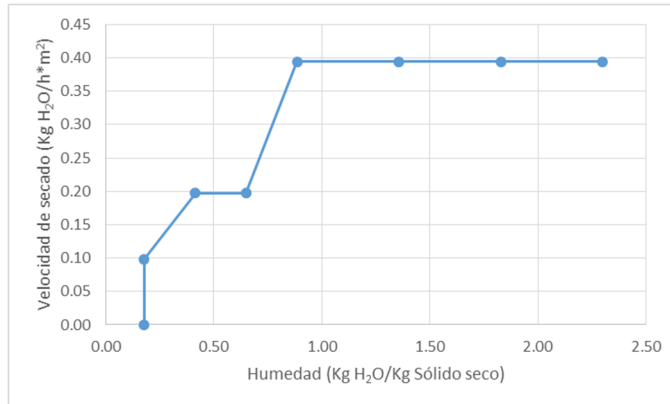
Fuente: elaboración propia.

Figura 96. **3 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. tiempo**



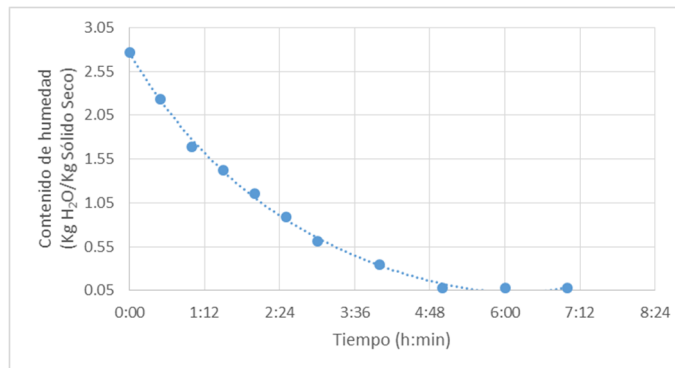
Fuente: elaboración propia.

Figura 97. **3 mm de espesor, bandeja 9: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**



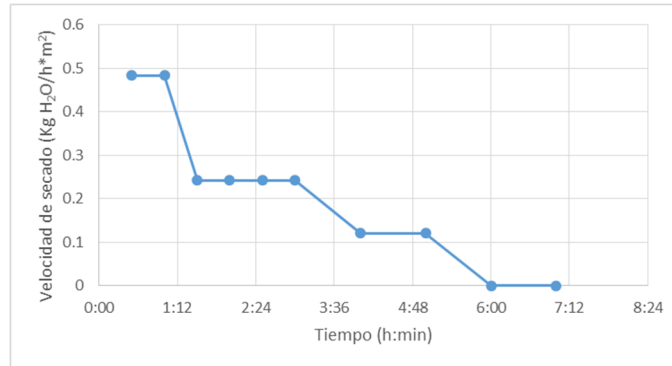
Fuente: elaboración propia.

Figura 98. **3 mm de espesor, bandeja 10: contenido de humedad en base seca vs. tiempo**



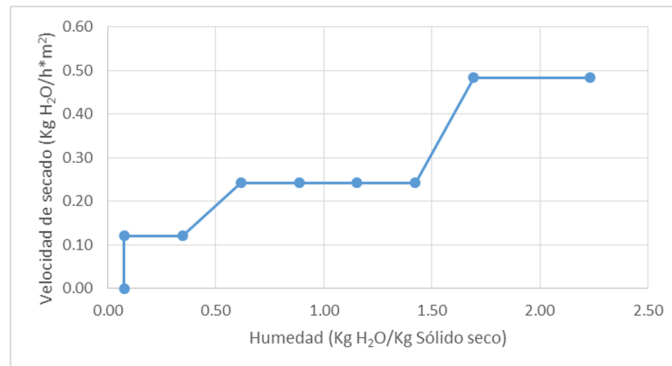
Fuente: elaboración propia.

Figura 99. **3 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 100. **3 mm de espesor, bandeja 10: velocidad de secado vs. contenido de humedad en base seca**

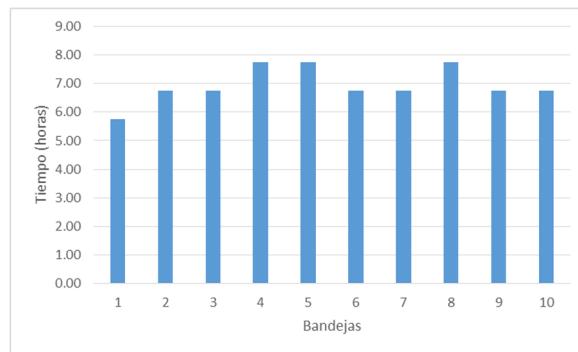


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Tiempos de secado

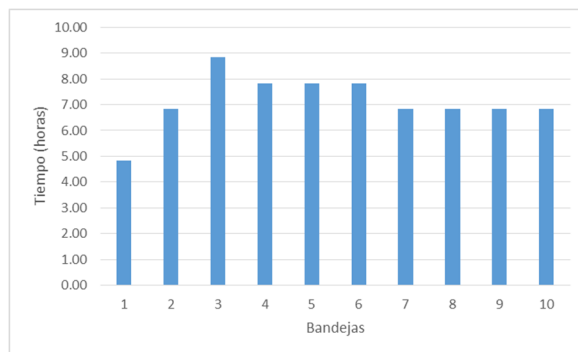
A continuación se presentan las gráficas referentes a los tiempos de secado.

Figura 101. **Tiempos de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



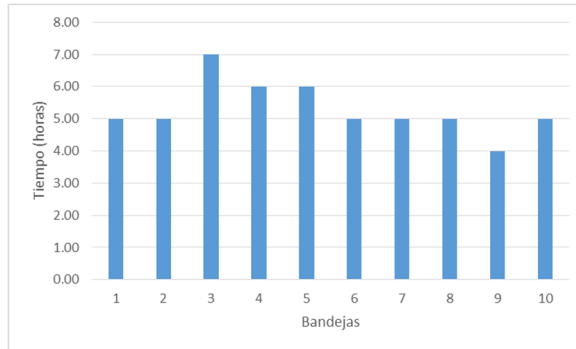
Fuente: elaboración propia.

Figura 102. **Tiempos de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



Fuente: elaboración propia.

Figura 103. **Tiempos de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 3 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**

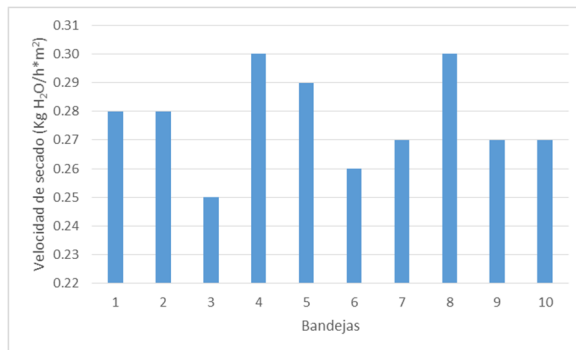


Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Velocidad de secado

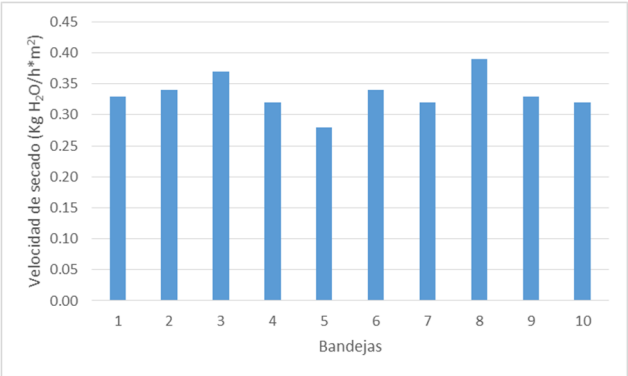
A continuación se presentan las gráficas referentes a las velocidades de secado.

Figura 104. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



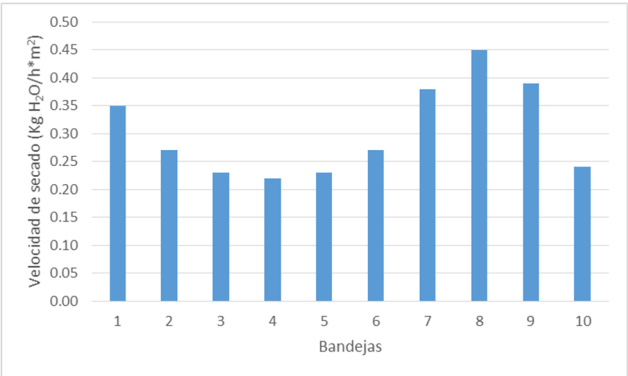
Fuente: elaboración propia.

Figura 105. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



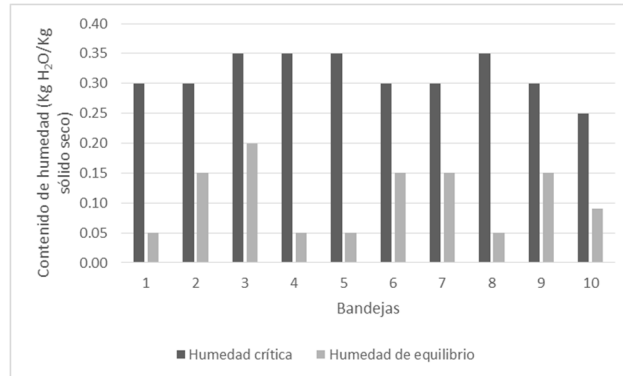
Fuente: elaboración propia.

Figura 106. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



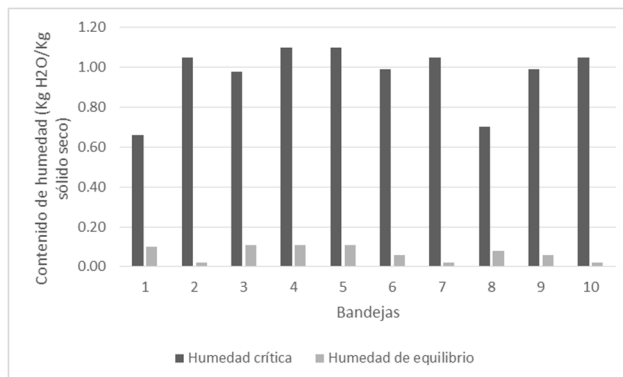
Fuente: elaboración propia.

Figura 107. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 1, rodajas de 3 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



Fuente: elaboración propia.

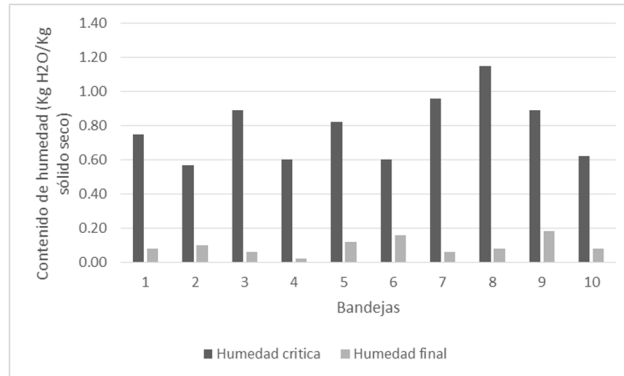
Figura 108. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 2, rodajas de 5 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



Fuente: elaboración propia.



Figura 109. **Velocidad de secado por bandeja para el lote 3, rodajas de 7 mm de espesor a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**

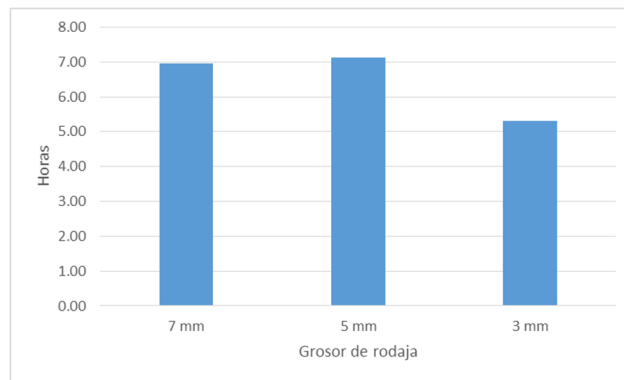


Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Valores promedio

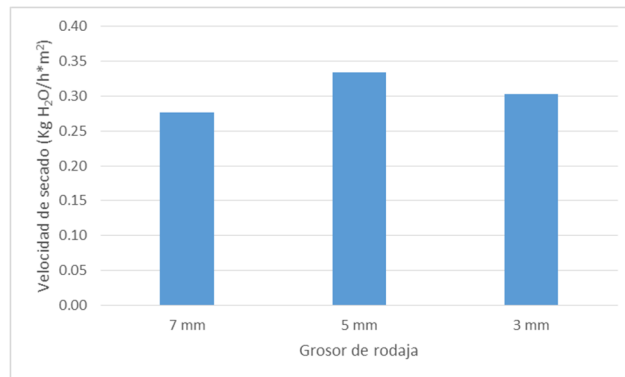
A continuación se presentan los distintos valores promedio calculados.

Figura 110. **Tiempos de secado promedio para cada grosor de rodaja a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



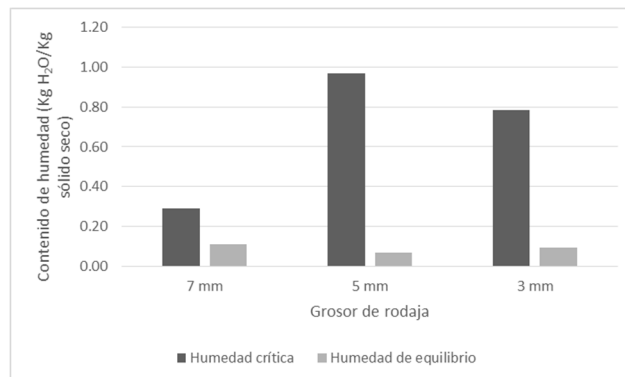
Fuente: elaboración propia.

Figura 111. **Velocidad de secado promedio en el punto crítico para cada grosor de rodaja a una temperatura de bulbo seco de 40 °C**



Fuente: elaboración propia.

Figura 112. **Contenido de humedad crítico promedio y contenido de humedad de equilibrio promedio a 40 °C**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Rendimiento de la harina

A continuación se presenta el rendimiento con base en el lote trabajado.

Tabla XII. Rendimiento de harina por lote

Lote	Masa de harina (Kg)	Rendimiento en base a materia prima sin secar (%)	Rendimiento en base a materia prima seca (%)
1	2,02	27,08	95,28
2	2,26	26,04	97,41
3	1,78	26,73	97,80

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El proceso de secado de banano verde (variedad Cavendish) se llevó a cabo con éxito. La comparación se realizó con base en 3 lotes de secado con diferente tamaño de partícula en cada lote; los tamaños de partícula trabajados fueron: rodajas de 3 mm, 5 mm y 7 mm de grosor. Para llevar a cabo el proceso de secado se utilizó un secador de bandejas de flujo transversal marca PREMLAB. El secador contiene 15 bandejas con 8 cm de separación entre cada bandeja, para realizar las gráficas y comparaciones del estudio solo se utilizó los datos obtenidos de 10 bandejas.

Durante la toma de datos se tuvo influencia de varios factores que afectaron el proceso de secado. A continuación se mencionan algunos de ellos:

- Pausa durante el proceso de secado: el tiempo de secado excedió el horario de trabajo del laboratorio (LIEXVE). Por tanto se hizo necesario pausar el proceso de secado por la noche para reiniciarlo a primera hora del día siguiente, además durante las tomas de datos se pausó el proceso de secado.

Durante la pausa forzosa por la noche, el proceso de secado continuó por un tiempo gracias al calor retenido en el interior del secador, pero con el transcurso de las horas la temperatura en el interior del secador disminuyó y se adsorbió nuevamente humedad del aire. En cada caso se tomó medida de los datos al finalizar cada día de trabajo y al iniciar al día siguiente, ninguno de los lotes reflejó un aumento en el peso de las muestras, al contrario, los lotes perdieron el peso equivalente a una corrida

de trabajo. Sin embargo, este dato se ignoró provocando irregularidad en las gráficas.

- **Báscula:** se utilizó una báscula marca OHAUS Corporation, USA Modelo T32XW con una capacidad que va desde 1 kg hasta 150 kg. Las medidas obtenidas por la báscula siempre eran aproximadas a un número par con un máximo de 2 decimales, lo cual provocó cierto grado de inexactitud en los datos.
- **Variación de la temperatura de secado:** las resistencias del secador se programaron para trabajar a 40 °C, sin embargo el secador difícilmente se mantenía en este intervalo y variaba entre los 35 °C a 45 °C.
- **Contracción:** las muestras mostraron cierto grado de contracción, es decir: se deformó su superficie y cambió su estructura. Los materiales fibrosos se contraen y pueden desarrollar una capa dura en la superficie del sólido que resulta impermeable al flujo de líquido o de vapor y disminuye la velocidad de secado.

## **5.1. Períodos de secado**

A continuación se presentan los periodos de secado.

### **5.1.1. Período de calentamiento**

Al iniciar el proceso inicia el aumento de la temperatura del sólido que generalmente estará por debajo de la temperatura que tendrá al alcanzar el periodo de velocidad constante. Con este aumento de temperatura en el sólido

también aumenta su velocidad de vaporización, a veces el aumento de temperatura es tan gradual que no alcanza a apreciarse en las gráficas.

### **5.1.2. Período de velocidad constante**

Después del periodo de calentamiento se alcanza una temperatura de equilibrio en el sólido. La humedad que contiene forma una película en la superficie provocando que la evaporación se lleve a cabo como si el sólido no estuviera presente. Durante este periodo la velocidad de evaporación es bastante parecida a la que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras del sólido ayudan a tener una velocidad más alta de la que tendría una superficie completamente plana.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. El periodo de velocidad constante continúa, mientras el agua siga llegando del interior del sólido a la capa exterior. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción. La temperatura de la superficie equivale en forma aproximada a la temperatura de bulbo húmedo.

### **5.1.3. Primer período de velocidad decreciente**

Se produce cuando la humedad que fluye del interior del sólido hacia la superficie no es suficiente, para mantener la película de humedad en la superficie del sólido y este alcanza el contenido crítico de humedad libre. La superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada comienza a disminuir hasta que la superficie queda seca en su totalidad.

#### **5.1.4. Segundo período de velocidad decreciente**

Cuando la superficie está seca en su totalidad, el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización provocando que el agua evaporada atraviese el sólido, para llegar hasta la corriente de aire. En algunos casos el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión. También puede deberse a que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña o requiera demasiado tiempo.

#### **5.2. Curvas de secado lote 1**

Los gráficos del lote 1 en su mayoría no mostraron el primer periodo de secado. Las únicas bandejas que mostraron un comportamiento parecido a lo que se esperaría del período de calentamiento fueron la bandeja 1 y 10. Se muestra un aumento de velocidad de secado entre primera y segunda toma de datos durante los primeros 45 minutos, pero bajando nuevamente en las siguientes corridas.

Algo importante a señalar en los gráficos de velocidad de secado vs tiempo y velocidad de secado vs contenido de humedad libre; son los períodos de velocidad constante. Aparentemente se muestran dos períodos diferentes de velocidad constante. Esto sucede porque se trata de una cantidad considerable de partículas separadas en lugar de un grupo de partículas juntas como sería el caso de secar una bandeja de arena por ejemplo. Las partículas reciben diferentes cantidades de aire y existen pequeñas variaciones en el

tamaño de cada una lo cual provoca que estas varíen su período de velocidad constante.

Finalmente se tuvo el periodo de velocidad decreciente. Esta disminución en la velocidad de secado se mostró de manera gradual excepto en las bandejas 1 y 10 donde la velocidad cayó a 0 al finalizar el período de velocidad constante.

En los gráficos de contenido de humedad libre vs tiempo entre las 4:45 horas y las 5:15 horas se muestra una irregularidad. Estos tiempos representan el inicio y final de la pausa forzosa en el proceso de secado.

### **5.3. Curvas de secado lote 2**

Al igual que los gráficos del lote 1, los gráficos del lote 2 tampoco mostraron el período de calentamiento a excepción de las bandejas 1 y 3. Acá se aprecia un aumento de la velocidad de secado entre la primera y segunda corrida para luego disminuir hasta un periodo de velocidad constante. Así el período de calentamiento duró entre las 0:00 horas hasta las 0:30 horas.

En los gráficos de contenido de humedad libre vs tiempo entre las 3:50 horas y las 4:30 horas se muestra la misma irregularidad que en los gráficos del lote 1, pero en el lote 2 es la irregularidad es menor. Esto debido a la menor cantidad de datos, estos tiempos representan el inicio y final de la pausa forzosa en el proceso de secado.

A diferencia del lote 1, en los gráficos de velocidad de secado vs tiempo y velocidad de secado vs contenido de humedad libre, se puede apreciar un período de velocidad constante; excepto en el gráfico 3 donde se puede apreciar un dos periodos de velocidad constante. Como se mencionó en la explicación



anterior, esto se debe a que el secado se realizó con varias partículas en cada bandeja.

Finalmente se tuvo el período de velocidad decreciente. Este período se mostró en todos los gráficos, siendo más apreciable en los gráficos de velocidad de secado vs tiempo y velocidad de secado vs contenido de humedad libre.

#### **5.4. Curvas de secado lote 3**

Los gráficos no mostraron el primer período de secado a excepción de la bandeja 2 y la bandeja 7. Estos mostraron un aumento en la velocidad de secado durante la primera hora, posteriormente la velocidad de secado baja en la siguiente corrida hasta alcanzar el período de velocidad constante. El periodo de calentamiento duraría entre los 0 minutos hasta los primeros 60 minutos.

Al igual que en los lotes anteriores, en los gráficos de contenido de humedad libre vs tiempo se muestra una irregularidad entre las 6:00 horas y las 8:00 horas. Estos tiempos representan el inicio y final de la pausa forzosa en el proceso de secado sin embargo, debido a lo avanzado en el proceso de secado la irregularidad es menos notoria, para este lote, en comparación a los demás lotes de secado.

En los gráficos de velocidad de secado vs tiempo y velocidad de secado vs contenido de humedad libre; en su mayoría de los gráficos muestran dos períodos de velocidad constante. Como se explicó anteriormente, estas variaciones se deben a la cantidad de partículas expuestas al secado.

Finalmente se tuvo el periodo de velocidad decreciente. Esta disminución en la velocidad de secado se mostró de manera gradual excepto en las bandejas 1 y 10 donde la velocidad cayó a 0 al finalizar el período de velocidad constante.

### **5.5. Tiempos y velocidades de secado por bandeja**

Como se puede apreciar en las gráficas, las velocidades de secado entre cada bandeja varían poco en relación con la media. Estas variaciones pueden deberse a distintos factores como irregularidades en los tamaños de partícula, deformación del sólido, distribución de la materia prima y distribución del calor dentro del secador.

Los tiempos de secado son inversamente proporcionales al tiempo de secado, se puede apreciar una diferencia aproximada de 1 hora en cada bandeja respecto a los valores medios. Con el fin de evitar la excesiva variación por causa de la distribución del calor dentro del secador las bandejas se mantuvieron en rotación.

### **5.6. Humedad crítica vs. humedad de equilibrio**

La humedad crítica es el punto entre el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente. Los gráficos muestran un valor de humedad menor (0,34 kg H<sub>2</sub>O/kg sólido seco) en el tamaño de partícula de 3 mm de grosor el cual representa un mayor tamaño área expuesta en comparación con los valores obtenidos en los tamaños de 5 mm y 7 mm de grosor. Estos presentan una menor cantidad de área expuesta, debido a que en esta área expuesta mayor, la humedad retenida en el interior fluye, una a través de una porción menor del sólido. Caso contrario en las partículas con una menor área expuesta donde la humedad retenida en el interior debe recorrer una distancia mayor y

tiene una mayor posibilidad de quedar atrapada en las porosidades o taponamientos que posee el sólido.

Para evitar su descomposición es necesario un contenido de humedad inferior al 15 % en base seca. El contenido de humedad de los 3 lotes de secado posee valores de humedad de equilibrio inferiores a este valor (11 % para un grosor de 7 mm, 7 % para un grosor de 5 mm, 9 % para un grosor de 3 mm).

### **5.7. Rendimiento de la harina**

Según la tabla IX los rendimientos de harina por lote fueron:

- Lote 1: 27,08 % alcanzándose la humedad de equilibrio en un promedio de 7 horas, teniéndose el lote un total de 10:45 horas aproximadamente.
- Lote 2: 26,04 % alcanzándose la humedad de equilibrio en un promedio de 7 horas teniéndose el lote un total de 12 horas aproximadamente.
- Lote 3: 26,73 % alcanzándose la humedad de equilibrio en un promedio de 5 horas teniéndose el lote un total de 10 horas aproximadamente.

Se tuvo una masa considerable de humedad, aunque según los tiempos promedio la diferencia no fue significativa. Se realizó un análisis de varianza de un factor para determinar qué tanta variación existió entre cada lote, en cuanto a los tiempos de secado.

## 5.8. Análisis de varianza

Para determinar la variación de los datos se realizó un análisis de varianza entre los 3 lotes. Se obtuvo un valor de  $F = 13,87$  mientras que  $F_{crítico} = 3,35$ , como  $F > F_{crítico}$  se concluye que el tamaño de partícula sí afecta significativamente el tiempo de secado. Posteriormente con las medias de los tiempos de secado de cada lote se determinó cuál o cuáles grupos tenían un valor medio que variaba considerablemente con las demás medias.

La prueba de Tukey mostró que las partículas con 7 mm y 5 mm de espesor no varían sus tiempos de secado de forma significativa e incluso tienen valores bastante parecidos. Mientras que las rodajas de 3 mm de grosor si varían de forma significativa, por tanto se concluye que con este lote se obtiene una mayor eficiencia en el proceso de secado como se esperaba.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta la cantidad de harina obtenida. Este lote obtuvo una menor cantidad en comparación con los otros lotes trabajados; al aumentar la superficie de contacto se necesitó una mayor cantidad de espacio para distribuir la materia prima. Por ello la cantidad de masa colocada por bandeja fue menor en comparación con la cantidad de los lotes con un tamaño de partícula mayor. La diferencia entre la masa de harina obtenida con los demás lotes no fue significativa para un proyecto a escala laboratorio. Sin embargo, para realizarse a gran escala debe tomarse en cuenta la cantidad de harina producida, el tiempo de secado y el coste de producción al variar los tamaños de partícula.

## 5.9. Análisis proximal

Como se mencionó con anterioridad, el análisis proximal se realizó al producto final con un contenido de harina de banano verde del 60 % y un

contenido de harina de maíz del 40 %. Esto debido a que este producto obtuvo mayor aceptación por el público según el análisis proximal de 5 puntos. Se realizó un análisis de varianza de un factor con los datos obtenidos de las personas encuestadas y posteriormente se realizó la prueba de Tukey. Se utilizó una receta genérica de galletas que contenía mantequilla, azúcar, polvo de hornear, agua y la mezcla de harinas mencionadas.

A continuación se presenta los datos obtenidos según el análisis proximal:

Tabla XIII. **Análisis proximal obtenido a partir de las galletas con un porcentaje en peso de 60 % de harina de banano y 40 % de harina de maíz**

Descripción	Base seca	Como alimento
Porcentaje de humedad	13,58	...
Masa seca total	86,42	...
Extracto etéreo	17,72	15,31
Fibra cruda	0,87	0,75
Proteína cruda	3,95	3,42
Cenizas	2,66	2,30
Extracto libre de nitrógeno	74,80	...

Fuente: Laboratorio de Bromatología, Ciudad Universitaria zona 12.

El contenido de humedad en base seca de la galleta es poco mayor al 10 %. Este resultado es bastante lógico debido a que sus principales componentes poseen un contenido de humedad bastante bajo. La harina de banano verde alcanzó valores próximos al 10 % en contenido de humedad de equilibrio. Mientras que la harina de maíz (Maseca) está entre un 8 % - 10 %. Se

retiró gran parte de la humedad añadida por la mantequilla y el agua por medio del horneado.

El extracto etéreo o grasa etérea se refiere a las sustancias que se extraen de un alimento por medio de un éter etílico. Entre estas sustancias se encuentran los ácidos grasos totales, los cuales en cuanto a alimentos se refiere, le dan un valor energético al producto. Sin embargo, al extraerse por medio de éter etílico también se incluyen algunos componentes extras (ésteres de los ácidos, fosfolípidos, lectinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres, entre otros). Según el análisis proximal se tiene un 15,31 % (base húmeda) y 17,72 % (base seca) lo cual hace que el alimento impide que el producto elaborado se catalogue como un producto dietético o bajo en grasa.

La fibra cruda constituye un 20 % a un 50 % de la fibra dietética y se refiere a las fibras que no contienen valor nutricional. La fibra cruda es expulsada del organismo y el peristaltismo intestinal regular. Sin embargo la galleta obtenida contiene cantidades de fibra cruda demasiado bajas (3,95 % en base seca y 3,42 % en base húmeda).

Las cenizas se refiere a la cantidad de minerales totales, se tiene un valor bastante bajo (2,66 % en base seca y 2,30 % en base húmeda). Esto indica que el producto no ha sido adulterado. Los valores muy altos de cenizas totales en un alimento son indicador de la presencia de adulterantes inorgánicos.

El extracto libre de nitrógeno está constituido principalmente por carbohidratos digeribles, también forman parte en menor cantidad vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados. Los carbohidratos abarcan los azúcares, almidones y fibra su función es suministrar energía al cuerpo. La galleta presenta un alto valor de extracto libre de nitrógeno (74,80 %)

lo cual indica un alto contenido energético. El consumo excesivo de este producto podría contribuir al sobrepeso.

## CONCLUSIONES

1. El tamaño de partícula influye de forma significativa en el tiempo de secado comparando los 3 lotes, según el método de análisis de varianza, de un factor con una significancia de 0,05.
2. El tamaño de partícula no influye de manera significativa en el tiempo de secado comparando los lotes 1 y 2, según el método de análisis de varianza, de un factor con una significancia de 0,05.
3. El tamaño de partícula influye de manera significativa en el tiempo de secado comparando los lotes 1 y 3, según el método de análisis de varianza, de un factor con una significancia de 0,05.
4. El tamaño de partícula influye de manera significativa en el tiempo de secado comparando los lotes 2 y 3, según el método de análisis de varianza de un factor, con una significancia de 0,05.
5. El lote 3 (rodajas de 3 mm de grosor) presentó un menor tiempo de secado en comparación al lote 1 (rodajas de 7 mm de grosor) y el lote 2 (rodajas de 5 mm de grosor). Sin embargo, fue en este lote donde se obtuvo una menor cantidad de masa de harina.
6. Pese a la variación de los datos, los gráficos mostraron el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente.



7. El producto con mayor aceptación según la escala hedónica de 5 puntos fue la muestra 911 con un 60 % de harina de banano obteniendo 4,50 puntos, lo que equivale a la categoría me gusta.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar un secador con una balanza adaptada para evitar interrupciones durante el secado. De no ser posible, utilizar una balanza o báscula con alta precisión.
2. Para evitar variaciones en el tiempo de secado entre cada bandeja, se debe utilizar la misma cantidad de masa por bandeja y de ser posible la misma cantidad de masa por bandeja, en todos los lotes de secado.
3. Al deshidratar frutas y verduras la temperatura debe ser inferior a los 60 °C para evitar que el alimento pierda sus propiedades.
4. Al realizar un secado de banano para elaborar harina es necesario elegir un grado de maduración 2 o menor. La fruta madura contiene fructosa la cual, al calentarse; produce caramelización provocando flexibilidad en el producto seco, y con esto impidiendo la reducción de tamaño, al grado necesario para formar harina.
5. Evaluar la variación en el tiempo de secado utilizando distintas temperaturas con un tamaño de partícula constante.
6. Evaluar la variación en el tiempo de secado utilizando tamaños de partículas y formas distintos a los utilizados durante el presente estudio.
7. Evaluar el contenido de potasio en las galletas obtenidas para cada proporción.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFÉ. *Cultivo de banano*. [en línea]. <[http://www.anacafe.org/glifos/index.php/P%C3%A1gina\\_principal](http://www.anacafe.org/glifos/index.php/P%C3%A1gina_principal)>. [Consulta: 5 de agosto de 2013].
2. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones*. 3a ed. México: Compañía Editorial Continental, 1998. 1 010 p. ISBN: 968-26-1316-7.
3. HUESO, Andrés; CASCANT, Josep. *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. España: Universidad Politécnica de València, 2012. 87 p. ISBN: 978-84-8363-893-4.
4. Insivumeh. *Promedios mensuales y anuales de presión atmosférica en milímetros de mercurio*. [en línea]. <[http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Presion\\_Atmosferica\\_Insivumeh.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Presion_Atmosferica_Insivumeh.htm)>. [Consulta: 5 de septiembre de 2014].
5. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Unit Operations of Chemical Engineering (traductor). 4a ed. España: McGraw-Hill, 1991. 1 114 p. ISBN: 0-07-044828-0.

6. METRÓLOGOS ASOCIADOS. *Cálculo de la humedad relativa por método psicrométrico de bulbo húmedo*. [en línea]. <<http://www.metas.com.mx/utilerias/calculohumedadrelativa.html>>. [Consulta: 5 de septiembre de 2014].
7. PERRY, Robert H. *Perry manual del ingeniero químico*. Green, Don H. (editor). Maloney, James O. (editor). 6a ed. México: McGraw-Hill, 1992. 2 577 p. ISBN: 9684220960.
8. SPIEGEL, Murray R. *Teoría y problemas de probabilidad y estadística*. Osuna Suarez, Jairo (trad). México: McGraw-Hill, 1977. 388 p. ISBN: 0-07-09022-9.
9. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. Rodríguez García, Amelia (trad.). 2a ed. México: McGraw-Hill. 862 p. ISBN: 968-6046-34-8.
10. VANACLOCHA, Ana Casp; REQUENA, José Abril. *Procesos de conservación de alimentos*. 2a ed. Madrid: Mundi Prensa, Madrid. 2003. 474 p. ISBN: 848476169X, 9788484761693.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Muestra de cálculo:

#### 1. Ecuación para calcular el contenido de agua en el tiempo t:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$$

#### Donde:

- $X_t$  = Contenido de agua en la muestra en el tiempo t (Kg de agua / Kg de sólido seco)
- $W$  = Masa del sólido húmedo (Kg)
- $W_s$  = Masa del sólido seco (Kg)

#### Ejemplo:

$$X_t = \frac{(0.52 - 0.1335438)Kg H_2O}{0.1335438 Kg} = 2.89385355 \frac{Kg H_2O}{Kg}$$

Nota: el contenido de agua se calculó de la misma forma para cada corrida en cada lote. Véase el apéndice 2

Continuación de apéndice 1.

## 2. Contenido de humedad libre:

$$X = X_t - X_{eq}$$

**Donde:**

- $X$  = Contenido de humedad libre (Kg de agua libre / Kg de sólido seco)
- $X_t$  = Contenido de agua en la muestra en el tiempo t (Kg de agua / Kg de sólido seco)
- $X_{eq}$  = Contenido de humedad de equilibrio (Kg de agua libre / Kg de sólido seco), este se determina experimentalmente.

**Ejemplo:**

$$\begin{aligned} X &= (2.89385355 - 0.048345187) \frac{\text{Kg de agua libre}}{\text{Kg de sólido seco}} \\ &= 2.845508365 \frac{\text{Kg de agua libre}}{\text{Kg de sólido seco}} \end{aligned}$$

Nota: El contenido de humedad libre se calculó de la misma forma para cada corrida en cada lote. Véase el apéndice 2

## 3. Velocidad de secado

$$R = -\frac{W_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

Continuación de apéndice 1.

**Donde:**

- R = Velocidad de secado (Kg H<sub>2</sub>O / h\*m<sup>2</sup>)
- W<sub>s</sub> = Masa de sólido seco (Kg)

Continuación de apéndice 1.

- A = Área superficial expuesta al secado (m<sup>2</sup>)
- $\frac{dx}{dt}$  = Valor de las pendientes tangentes a la curva obtenidas en la gráfica de humedad libre vs tiempo (Kg H<sub>2</sub>O / Kg sólido seco \* h)

**Ejemplo:**

$$R = -\frac{0.1335438 \text{ Kg}}{0.144858837 \text{ m}^2} * \frac{(2.695744767 - 2.845508365) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg sólido seco}}}{(0.25 - 0.00) \text{ h}} = 0.552261785 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}$$

Nota: La velocidad de secado se calculó de la misma forma para cada corrida en cada lote. Véase el apéndice 2

**Rendimiento del banano para la obtención de la harina:**

$$\%rendimiento = \frac{\text{masa de harina}}{\text{masa de materia prima}} * 100$$

**Donde:**

- Porcentaje de rendimiento = Porcentaje de rendimiento (Kg harina / Kg de banano verde con cáscara)
- Masa de harina = Masa total de la harina obtenida (Kg)
- Masa de materia prima = Masa total del banano verde con cáscara utilizado en el experimento (Kg)



Continuación de apéndice 1.

Ejemplo:

$$\%rendimiento = \frac{2,02 \text{ Kg}}{7,46 \text{ Kg}} * 100 = 27,08 \%$$

Nota: el porcentaje de rendimiento se calculó de la misma forma para cada lote de secado. Véase la sección resultados.

Los gráficos y el resto de cálculos se realizaron por medio del programa Microsoft Excel 2014 y sus complementos.

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Datos recolectados y calculados

**Tabla I. Masas recolectadas por bandeja para cada corrida en el lote 1**

Corrida	Masa (Kg)									
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5	Bandeja 6	Bandeja 7	Bandeja 8	Bandeja 9	Bandeja 10
0	6,28	6,28	6,20	6,26	6,20	6,30	6,30	6,32	6,20	6,34
1	6,26	6,26	6,18	6,24	6,18	6,28	6,28	6,30	6,18	6,32
2	6,20	6,22	6,14	6,20	6,14	6,22	6,24	6,26	6,14	6,30
3	6,14	6,18	6,10	6,16	6,10	6,18	6,20	6,22	6,10	6,26
4	6,10	6,14	6,06	6,12	6,06	6,14	6,16	6,18	6,06	6,22
5	6,06	6,10	6,02	6,08	6,02	6,10	6,12	6,14	6,02	6,18
6	6,04	6,06	6,00	6,06	6,00	6,08	6,08	6,12	5,98	6,14
7	6,02	6,04	5,98	6,04	5,98	6,06	6,06	6,10	5,96	6,12
8	6,00	6,02	5,96	6,02	5,96	6,04	6,04	6,08	5,94	6,10
9	5,98	6,00	5,94	6,00	5,94	6,02	6,02	6,06	5,92	6,08
10	5,96	5,98	5,92	5,98	5,92	6,00	6,00	6,04	5,90	6,06
11	5,94	5,96	5,90	5,96	5,90	5,98	5,98	6,02	5,88	6,04
12	5,92	5,94	5,88	5,94	5,88	5,96	5,96	6,00	5,86	6,02
13	5,90	5,92	5,86	5,92	5,86	5,94	5,94	5,98	5,84	6,00
14	5,90	5,90	5,84	5,90	5,84	5,92	5,92	5,96	5,82	5,98
15	5,90	5,90	5,84	5,88	5,82	5,92	5,92	5,94	5,82	5,98
16	5,90	5,90	5,84	5,88	5,82	5,92	5,92	5,94	5,82	5,98
17	5,90	5,90	5,84	5,88	5,82	5,92	5,92	5,94	5,82	5,98

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla II. Masa de bandejas sin materia prima para el lote 1**

Bandeja	Masa (Kg)
1	5,76
2	5,74
3	5,68
4	5,74
5	5,68
6	5,76
7	5,76
8	5,80
9	5,66
10	5,84

Fuente: elaboración propia.

**Tabla III. Cantidad de partículas, áreas expuestas para el lote 1**

Bandeja	Unidades	Área Unitaria (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )
1	106	0,00136659	0,14485884
2	103	0,00136659	0,14075906
3	119	0,00136659	0,16262454
4	98	0,00136659	0,13392609
5	102	0,00136659	0,13939247
6	112	0,00136659	0,15305839
7	109	0,00136659	0,14895862
8	97	0,00136659	0,13255950
9	109	0,00136659	0,14895862
10	108	0,00136659	0,14759202

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla IV. Tomas de tiempo para cada corrida en el lote 1**

Corrida	Tiempo (h:min)	Tiempo Acumulado (h:min)	Tiempo Acumulado (h)
0	0:00	0,00	0,00
1	0:15	0,25	0,25
2	0:30	0,50	0,75
3	0:30	0,50	1,25
4	0:30	0,50	1,75
5	0:30	0,50	2,25
6	0:30	0,50	2,75
7	0:30	0,50	3,25
8	0:30	0,50	3,75
9	0:30	0,50	4,25
10	0:30	0,50	4,75
11	pausa		
12	0:30	0,50	5,25
13	0:30	0,50	5,75
14	1:00	1,00	6,75
15	1:00	1,00	7,75
16	1:00	1,00	8,75
17	2:00	2,00	10,75

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla V. Masas recolectadas por bandeja para cada corrida en el lote 2**

Corrida	Masa (Kg)									
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5	Bandeja 6	Bandeja 7	Bandeja 8	Bandeja 9	Bandeja 10
0	6,34	6,34	6,34	6,32	6,26	6,24	6,34	6,32	6,22	6,38
1	6,30	6,30	6,30	6,28	6,22	6,20	6,30	6,28	6,18	6,34
2	6,24	6,26	6,24	6,24	6,18	6,16	6,26	6,24	6,14	6,30
3	6,18	6,22	6,20	6,20	6,14	6,12	6,22	6,20	6,10	6,26
4	6,14	6,18	6,16	6,16	6,10	6,08	6,18	6,16	6,06	6,22
5	6,10	6,14	6,12	6,12	6,06	6,04	6,14	6,12	6,02	6,18
6	6,06	6,10	6,08	6,08	6,02	6,00	6,10	6,08	5,98	6,14
7	6,02	6,06	6,06	6,04	5,98	5,96	6,06	6,04	5,94	6,10
8	6,00	6,02	6,04	6,02	5,96	5,94	6,02	6,02	5,90	6,06
9	5,98	5,98	6,02	6,00	5,94	5,92	6,00	6,00	5,88	6,02
10	5,98	5,96	6,00	5,96	5,90	5,90	5,96	5,96	5,86	6,00
11	5,98	5,94	5,98	5,94	5,88	5,88	5,94	5,94	5,84	5,98
12	5,98	5,94	5,96	5,92	5,86	5,86	5,94	5,94	5,84	5,98
13	5,98	5,94	5,94	5,92	5,86	5,86	5,94	5,94	5,84	5,98
14	5,98	5,94	5,94	5,92	5,86	5,86	5,94	5,94	5,84	5,98
15	5,98	5,94	5,94	5,92	5,86	5,86	5,94	5,94	5,84	5,98

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla VI. Masa de bandejas sin materia prima para el lote 2**

<b>Bandeja</b>	<b>Masa (Kg)</b>
1	5,82
2	5,78
3	5,76
4	5,74
5	5,68
6	5,70
7	5,78
8	5,70
9	5,68
10	5,82

Fuente: elaboración propia.

**Tabla VII. Cantidad de partículas, áreas expuestas para el lote 2**

<b>Bandeja</b>	<b>Unidades</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>
1	203	0,0011781	0,23915374
2	201	0,0011781	0,23679755
3	186	0,0011781	0,21912609
4	210	0,0011781	0,24740042
5	240	0,0011781	0,28274334
6	200	0,0011781	0,23561945
7	210	0,0011781	0,24740042
8	176	0,0011781	0,20734512
9	204	0,0011781	0,24033184
10	214	0,0011781	0,25211281

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla VIII. Tomas de tiempo para cada corrida en el lote 2**

Corrida	Tiempo (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Tiempo (h)
0	0:00	0:00	0,00
1	0:30	0:30	0,50
2	0:30	1:00	0,50
3	0:30	1:30	0,50
4	0:30	2:00	0,50
5	0:30	2:30	0,50
6	0:30	3:00	0,50
7	0:50	3:50	0,83
8	pausa		
9	1:00	4:50	1,00
10	1:00	5:50	1,00
11	1:00	6:50	1,00
12	1:00	7:50	1,00
13	1:00	8:50	1,00
14	1:00	9:50	1,00
15	2:00	11:50	2,00

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla IX. Masas recolectadas por bandeja para cada corrida en el lote 3**

Corrida	Masa (Kg)									
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5	Bandeja 6	Bandeja 7	Bandeja 8	Bandeja 9	Bandeja 10
0	6,36	6,30	6,38	6,30	6,22	6,34	6,26	6,12	6,02	6,04
1	6,30	6,26	6,32	6,24	6,16	6,28	6,22	6,06	5,98	6,00
2	6,24	6,20	6,26	6,18	6,10	6,22	6,14	6,00	5,94	5,96
3	6,18	6,14	6,20	6,12	6,06	6,16	6,08	5,94	5,90	5,94
4	6,12	6,10	6,14	6,08	6,02	6,12	6,02	5,90	5,86	5,92
5	6,06	6,06	6,10	6,04	5,98	6,08	5,98	5,88	5,84	5,90
6	6,02	6,02	6,06	6,00	5,94	6,04	5,96	5,86	5,82	5,88
7	5,98	5,98	6,02	5,96	5,90	6,00	5,92	5,84	5,80	5,86
8	5,96	5,96	5,98	5,94	5,86	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84
9	5,96	5,96	5,94	5,92	5,84	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84
10	5,96	5,96	5,92	5,92	5,84	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84
11	5,96	5,96	5,92	5,92	5,84	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84
12	5,96	5,96	5,92	5,92	5,84	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84
13	5,96	5,96	5,92	5,92	5,84	5,98	5,90	5,82	5,80	5,84

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla X. Masa de bandejas sin materia prima para el lote 3**

<b>Bandeja</b>	<b>Masa (Kg)</b>
1	5,80
2	5,82
3	5,74
4	5,78
5	5,68
6	5,82
7	5,76
8	5,70
9	5,70
10	5,76

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XI. Cantidad de partículas, áreas expuestas para el lote 3**

<b>Bandeja</b>	<b>Unidades</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>
1	350	0,0009896	0,34636059
2	299	0,0009896	0,29589090
3	355	0,0009896	0,35130860
4	360	0,0009896	0,35625661
5	349	0,0009896	0,34537099
6	294	0,0009896	0,29094290
7	323	0,0009896	0,31964134
8	269	0,0009896	0,26620285
9	205	0,0009896	0,20286835
10	167	0,0009896	0,16526348

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XII. Tomas de tiempo para cada corrida en el lote 3**

Corrida	Tiempo (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Tiempo (h)
0	0:00	0:00	0,00
1	0:30	0:30	0,50
2	0:30	1:00	0,50
3	0:30	1:30	0,50
4	0:30	2:00	0,50
5	0:30	2:30	0,50
6	0:30	3:00	0,50
7	Pausa		
8	1:00	4:00	1,00
9	1:00	5:00	1,00
10	1:00	6:00	1,00
11	1:00	7:00	1,00
12	1:00	8:00	1,00
13	1:00	9:00	1,00
14	1:00	10:00	1,00

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XIII. Masas y humedades para el lote 1**

Bandeja	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de la bandeja (Kg)	Masa inicial de materia prima (Kg)	% de humedad	Masa de sólido seco (Kg)
1	6,28	5,76	0,52	74,3185	0,1335438
2	6,28	5,74	0,54	74,3185	0,1386801
3	6,20	5,68	0,52	74,3185	0,1335438
4	6,26	5,74	0,52	74,3185	0,1335438
5	6,20	5,68	0,52	74,3185	0,1335438
6	6,30	5,76	0,54	74,3185	0,1386801
7	6,30	5,76	0,54	74,3185	0,1386801
8	6,32	5,80	0,52	74,3185	0,1335438
9	6,20	5,66	0,54	74,3185	0,1386801
10	6,34	5,84	0,50	74,3185	0,1284075

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XIV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 1 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado $R$ $\left(\frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,28	0,52	2,8938	0,0483	2,8455		
1	6,26	0,50	2,7440	0,0483	2,6957	-0,5990	0,5522
2	6,20	0,44	2,2947	0,0483	2,2464	-0,8985	0,8283
3	6,14	0,38	1,8455	0,0483	1,7971	-0,8985	0,8283
4	6,10	0,34	1,5459	0,0483	1,4976	-0,5990	0,5522
5	6,06	0,30	1,2464	0,0483	1,1981	-0,5990	0,5522
6	6,04	0,28	1,0966	0,0483	1,0483	-0,2995	0,2761
7	6,02	0,26	0,9469	0,0483	0,8985	-0,2995	0,2761
8	6,00	0,24	0,7971	0,0483	0,7488	-0,2995	0,2761
9	5,98	0,22	0,6473	0,0483	0,5990	-0,2995	0,2761
10	5,96	0,20	0,4976	0,0483	0,4492	-0,2995	0,2761
11	5,94	0,18	0,3478	0,0483	0,2995		
12	5,92	0,16	0,1981	0,0483	0,1497	-0,2995	0,2761
13	5,90	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	-0,2995	0,2761
14	5,90	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,90	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,90	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,90	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 2 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg \cdot H_2O}{h \cdot m^2}\right)$
0	6,28	0,54	2,8939	0,1537	2,7401		
1	6,26	0,52	2,7496	0,1537	2,5959	-0,5769	0,5683
2	6,22	0,48	2,4612	0,1537	2,3075	-0,5769	0,5683
3	6,18	0,44	2,1728	0,1537	2,0190	-0,5769	0,5683
4	6,14	0,40	1,8843	0,1537	1,7306	-0,5769	0,5683
5	6,10	0,36	1,5959	0,1537	1,4422	-0,5769	0,5683
6	6,06	0,32	1,3075	0,1537	1,1537	-0,5769	0,5683
7	6,04	0,30	1,1633	0,1537	1,0095	-0,2884	0,2842
8	6,02	0,28	1,0190	0,1537	0,8653	-0,2884	0,2842
9	6,00	0,26	0,8748	0,1537	0,7211	-0,2884	0,2842
10	5,98	0,24	0,7306	0,1537	0,5769	-0,2884	0,2842
11	5,96	0,22	0,5864	0,1537	0,4327		
12	5,94	0,20	0,4422	0,1537	0,2884	-0,2884	0,2842
13	5,92	0,18	0,2980	0,1537	0,1442	-0,2884	0,2842
14	5,90	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	-0,1442	0,1421
15	5,90	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,90	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,90	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XVI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 3 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,20	0,52	2,8939	0,1981	2,6957		
1	6,18	0,50	2,7441	0,1981	2,5460	-0,5991	0,4919
2	6,14	0,46	2,4446	0,1981	2,2465	-0,5991	0,4919
3	6,10	0,42	2,1450	0,1981	1,9469	-0,5991	0,4919
4	6,06	0,38	1,8455	0,1981	1,6474	-0,5991	0,4919
5	6,02	0,34	1,5460	0,1981	1,3479	-0,5991	0,4919
6	6,00	0,32	1,3962	0,1981	1,1981	-0,2995	0,2460
7	5,98	0,30	1,2465	0,1981	1,0483	-0,2995	0,2460
8	5,96	0,28	1,0967	0,1981	0,8986	-0,2995	0,2460
9	5,94	0,26	0,9469	0,1981	0,7488	-0,2995	0,2460
10	5,92	0,24	0,7972	0,1981	0,5991	-0,2995	0,2460
11	5,90	0,22	0,6474	0,1981	0,4493		
12	5,88	0,20	0,4976	0,1981	0,2995	-0,2995	0,2460
13	5,86	0,18	0,3479	0,1981	0,1498	-0,2995	0,2460
14	5,84	0,16	0,1981	0,1981	0,0000	-0,1498	0,1230
15	5,84	0,16	0,1981	0,1981	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,84	0,16	0,1981	0,1981	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,84	0,16	0,1981	0,1981	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XVII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 4 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h \cdot m^2}\right)$
0	6,26	0,52	2,8939	0,0483	2,8455		
1	6,24	0,50	2,7441	0,0483	2,6957	-0,5991	0,5973
2	6,20	0,46	2,4446	0,0483	2,3962	-0,5991	0,5973
3	6,16	0,42	2,1450	0,0483	2,0967	-0,5991	0,5973
4	6,12	0,38	1,8455	0,0483	1,7972	-0,5991	0,5973
5	6,08	0,34	1,5460	0,0483	1,4976	-0,5991	0,5973
6	6,06	0,32	1,3962	0,0483	1,3479	-0,2995	0,2987
7	6,04	0,30	1,2465	0,0483	1,1981	-0,2995	0,2987
8	6,02	0,28	1,0967	0,0483	1,0483	-0,2995	0,2987
9	6,00	0,26	0,9469	0,0483	0,8986	-0,2995	0,2987
10	5,98	0,24	0,7972	0,0483	0,7488	-0,2995	0,2987
11	5,96	0,22	0,6474	0,0483	0,5991		
12	5,94	0,20	0,4976	0,0483	0,4493	-0,2995	0,2987
13	5,92	0,18	0,3479	0,0483	0,2995	-0,2995	0,2987
14	5,90	0,16	0,1981	0,0483	0,1498	-0,1498	0,1493
15	5,88	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	-0,1498	0,1493
16	5,88	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,88	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XVIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 5 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima	Masa de materia prima (kg)	Contenido de humedad en el tiempo t $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,20	0,52	2,8939	0,0483	2,8455		
1	6,18	0,50	2,7441	0,0483	2,6957	-0,5991	0,5739
2	6,14	0,46	2,4446	0,0483	2,3962	-0,5991	0,5739
3	6,10	0,42	2,1450	0,0483	2,0967	-0,5991	0,5739
4	6,06	0,38	1,8455	0,0483	1,7972	-0,5991	0,5739
5	6,02	0,34	1,5460	0,0483	1,4976	-0,5991	0,5739
6	6,00	0,32	1,3962	0,0483	1,3479	-0,2995	0,2870
7	5,98	0,30	1,2465	0,0483	1,1981	-0,2995	0,2870
8	5,96	0,28	1,0967	0,0483	1,0483	-0,2995	0,2870
9	5,94	0,26	0,9469	0,0483	0,8986	-0,2995	0,2870
10	5,92	0,24	0,7972	0,0483	0,7488	-0,2995	0,2870
11	5,90	0,22	0,6474	0,0483	0,5991		
12	5,88	0,20	0,4976	0,0483	0,4493	-0,2995	0,2870
13	5,86	0,18	0,3479	0,0483	0,2995	-0,2995	0,2870
14	5,84	0,16	0,1981	0,0483	0,1498	-0,1498	0,1435
15	5,82	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	-0,1498	0,1435
16	5,82	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,82	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XIX. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 6 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,30	0,54	2,8939	0,1537	2,7401		
1	6,28	0,52	2,7496	0,1537	2,5959	-0,5769	0,5227
2	6,22	0,46	2,3170	0,1537	2,1633	-0,8653	0,7840
3	6,18	0,42	2,0286	0,1537	1,8748	-0,5769	0,5227
4	6,14	0,38	1,7401	0,1537	1,5864	-0,5769	0,5227
5	6,10	0,34	1,4517	0,1537	1,2980	-0,5769	0,5227
6	6,08	0,32	1,3075	0,1537	1,1537	-0,2884	0,2613
7	6,06	0,30	1,1633	0,1537	1,0095	-0,2884	0,2613
8	6,04	0,28	1,0190	0,1537	0,8653	-0,2884	0,2613
9	6,02	0,26	0,8748	0,1537	0,7211	-0,2884	0,2613
10	6,00	0,24	0,7306	0,1537	0,5769	-0,2884	0,2613
11	5,98	0,22	0,5864	0,1537	0,4327		
12	5,96	0,20	0,4422	0,1537	0,2884	-0,2884	0,2613
13	5,94	0,18	0,2980	0,1537	0,1442	-0,2884	0,2613
14	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	-0,1442	0,1307
15	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,92	0,16	0,157	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,92	0,16	0,1537	0,153	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla XX. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 7 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,30	0,54	2,8939	0,1537	2,7401		
1	6,28	0,52	2,7496	0,1537	2,5959	-0,5769	0,5371
2	6,24	0,48	2,4612	0,1537	2,3075	-0,5769	0,5371
3	6,20	0,44	2,1728	0,1537	2,0190	-0,5769	0,5371
4	6,16	0,40	1,8843	0,1537	1,7306	-0,5769	0,5371
5	6,12	0,36	1,5959	0,1537	1,4422	-0,5769	0,5371
6	6,08	0,32	1,3075	0,1537	1,1537	-0,5769	0,5371
7	6,06	0,30	1,1633	0,1537	1,0095	-0,2884	0,2685
8	6,04	0,28	1,0190	0,1537	0,8653	-0,2884	0,2685
9	6,02	0,26	0,8748	0,1537	0,7211	-0,2884	0,2685
10	6,00	0,24	0,7306	0,1537	0,5769	-0,2884	0,2685
11	5,98	0,22	0,5864	0,1537	0,4327		
12	5,96	0,20	0,4422	0,1537	0,2884	-0,2884	0,2685
13	5,94	0,18	0,2980	0,1537	0,1442	-0,2884	0,2685
14	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	-0,1442	0,1343
15	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,92	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 8 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,32	0,52	2,8939	0,0483	2,8455		
1	6,30	0,50	2,7441	0,0483	2,6957	-0,5991	0,6035
2	6,26	0,46	2,4446	0,0483	2,3962	-0,5991	0,6035
3	6,22	0,42	2,1450	0,0483	2,0967	-0,5991	0,6035
4	6,18	0,38	1,8455	0,0483	1,7972	-0,5991	0,6035
5	6,14	0,34	1,5460	0,0483	1,4976	-0,5991	0,6035
6	6,12	0,32	1,3962	0,0483	1,3479	-0,2995	0,3018
7	6,10	0,30	1,2465	0,0483	1,1981	-0,2995	0,3018
8	6,08	0,28	1,0967	0,0483	1,0483	-0,2995	0,3018
9	6,06	0,26	0,9469	0,0483	0,8986	-0,2995	0,3018
10	6,04	0,24	0,7972	0,0483	0,7488	-0,2995	0,3018
11	6,02	0,22	0,6474	0,0483	0,5991		
12	6,00	0,20	0,4976	0,0483	0,4493	-0,2995	0,3018
13	5,98	0,18	0,3479	0,0483	0,2995	-0,2995	0,3018
14	5,96	0,16	0,1981	0,0483	0,1498	-0,1498	0,1509
15	5,94	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	-0,1498	0,1509
16	5,94	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,94	0,14	0,0483	0,0483	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 9 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}(-)$	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,20	0,54	2,8939	0,1537	2,7401		
1	6,18	0,52	2,7496	0,1537	2,5959	-0,5769	0,5371
2	6,14	0,48	2,4612	0,1537	2,3075	-0,5769	0,5371
3	6,10	0,44	2,1728	0,1537	2,0190	-0,5769	0,5371
4	6,06	0,40	1,8843	0,1537	1,7306	-0,5769	0,5371
5	6,02	0,36	1,5959	0,1537	1,4422	-0,5769	0,5371
6	5,98	0,32	1,3075	0,1537	1,1537	-0,5769	0,5371
7	5,96	0,30	1,1633	0,1537	1,0095	-0,2884	0,2685
8	5,94	0,28	1,0190	0,1537	0,8653	-0,2884	0,2685
9	5,92	0,26	0,8748	0,1537	0,7211	-0,2884	0,2685
10	5,90	0,24	0,7306	0,1537	0,5769	-0,2884	0,2685
11	5,88	0,22	0,5864	0,1537	0,4327		
12	5,86	0,20	0,4422	0,1537	0,2884	-0,2884	0,2685
13	5,84	0,18	0,2980	0,1537	0,1442	-0,2884	0,2685
14	5,82	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	-0,1442	0,1343
15	5,82	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,82	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,82	0,16	0,1537	0,1537	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 10 del lote 1**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}(-)$	Contenido de humedad libre $X(-)$	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,34	0,50	2,8939	0,0903	2,8036		
1	6,32	0,48	2,7381	0,0903	2,6478	-0,6230	0,5420
2	6,30	0,46	2,5823	0,0903	2,4921	-0,3115	0,2710
3	6,26	0,42	2,2708	0,0903	2,1806	-0,6230	0,5420
4	6,22	0,38	1,9593	0,0903	1,8690	-0,6230	0,5420
5	6,18	0,34	1,6478	0,0903	1,5575	-0,6230	0,5420
6	6,14	0,30	1,3363	0,0903	1,2460	-0,6230	0,5420
7	6,12	0,28	1,1806	0,0903	1,0903	-0,3115	0,2710
8	6,10	0,26	1,0248	0,0903	0,9345	-0,3115	0,2710
9	6,08	0,24	0,8690	0,0903	0,7788	-0,3115	0,2710
10	6,06	0,22	0,7133	0,0903	0,6230	-0,3115	0,2710
11	6,04	0,20	0,5575	0,0903	0,4673		
12	6,02	0,18	0,4018	0,0903	0,3115	-0,3115	0,2710
13	6,00	0,16	0,2460	0,0903	0,1558	-0,3115	0,2710
14	5,98	0,14	0,0903	0,0903	0,0000	-0,1558	0,1355
15	5,98	0,14	0,0903	0,0903	0,0000	0,0000	0,0000
16	5,98	0,14	0,0903	0,0903	0,0000	0,0000	0,0000
17	5,98	0,14	0,0903	0,0903	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXIV. Masas y humedades para el lote 2**

Bandeja	Masa de bandeja + materia prima (Kg)	Masa de la bandeja (Kg)	Masa de la materia prima inicial (Kg)	% de humedad	Masa de sólido seco (Kg)
1	6,34	5,82	0,52	72,113	0,1450
2	6,34	5,78	0,56	72,113	0,1561
3	6,34	5,76	0,58	72,113	0,1617
4	6,32	5,74	0,58	72,113	0,1617
5	6,26	5,68	0,58	72,113	0,1617
6	6,24	5,70	0,54	72,113	0,1505
7	6,34	5,78	0,56	72,113	0,1561
8	6,50	5,70	0,80	72,113	0,2230
9	6,22	5,68	0,54	72,113	0,1505
10	6,38	5,82	0,56	72,113	0,1561

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 1 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,34	0,52	2,5859	0,1034	2,4825		
1	6,30	0,48	2,3101	0,1034	2,2067	-0,5517	0,3345
2	6,24	0,42	1,8963	0,1034	1,7930	-0,8275	0,5018
3	6,18	0,36	1,4825	0,1034	1,3792	-0,8275	0,5018
4	6,14	0,32	1,2067	0,1034	1,1034	-0,5517	0,3345
5	6,10	0,28	0,9309	0,1034	0,8275	-0,5517	0,3345
6	6,06	0,24	0,6550	0,1034	0,5517	-0,5517	0,3345
7	6,02	0,20	0,3792	0,1034	0,2758	-0,3323	0,2015
8	6,00	0,18	0,2413	0,1034	0,1379		
9	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	-0,1379	0,0836
10	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,98	0,16	0,1034	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXVI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 2 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,34	0,56	2,5859	0,0245	2,5614		
1	6,30	0,52	2,3298	0,0245	2,3052	-0,5123	0,3378
2	6,26	0,48	2,0736	0,0245	2,0491	-0,5123	0,3378
3	6,22	0,44	1,8175	0,0245	1,7930	-0,5123	0,3378
4	6,18	0,40	1,5614	0,0245	1,5368	-0,5123	0,3378
5	6,14	0,36	1,3052	0,0245	1,2807	-0,5123	0,3378
6	6,10	0,32	1,0491	0,0245	1,0245	-0,5123	0,3378
7	6,06	0,28	0,7930	0,0245	0,7684	-0,3086	0,2035
8	6,02	0,24	0,5368	0,0245	0,5123		
9	5,98	0,20	0,2807	0,0245	0,2561	-0,2561	0,1689
10	5,96	0,18	0,1526	0,0245	0,1281	-0,1281	0,0845
11	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	-0,1281	0,0845
12	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXVII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 3 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo t X <sub>i</sub> (-)	Contenido de humedad en el equilibrio X <sub>eq</sub> (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,34	0,58	2,5859	0,1129	2,4730		
1	6,30	0,54	2,3386	0,1129	2,2257	-0,4946	0,3651
2	6,24	0,48	1,9676	0,1129	1,8548	-0,7419	0,5476
3	6,20	0,44	1,7203	0,1129	1,6075	-0,4946	0,3651
4	6,16	0,40	1,4730	0,1129	1,3602	-0,4946	0,3651
5	6,12	0,36	1,2257	0,1129	1,1129	-0,4946	0,3651
6	6,08	0,32	0,9784	0,1129	0,8656	-0,4946	0,3651
7	6,06	0,30	0,8548	0,1129	0,7419	-0,1490	0,1100
8	6,04	0,28	0,7311	0,1129	0,6183		
9	6,02	0,26	0,6075	0,1129	0,4946	-0,1237	0,0913
10	6,00	0,24	0,4838	0,1129	0,3710	-0,1237	0,0913
11	5,98	0,22	0,3602	0,1129	0,2473	-0,1237	0,0913
12	5,96	0,20	0,2365	0,1129	0,1237	-0,1237	0,0913
13	5,94	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	-0,1237	0,0913
14	5,94	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,94	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXVIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 4 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado $R$ $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,32	0,58	2,5859	0,1129	2,4730		
1	6,28	0,54	2,3386	0,1129	2,2257	-0,4946	0,3234
2	6,24	0,50	2,0913	0,1129	1,9784	-0,4946	0,3234
3	6,20	0,46	1,8440	0,1129	1,7311	-0,4946	0,3234
4	6,16	0,42	1,5967	0,1129	1,4838	-0,4946	0,3234
5	6,12	0,38	1,3494	0,1129	1,2365	-0,4946	0,3234
6	6,08	0,34	1,1021	0,1129	0,9892	-0,4946	0,3234
7	6,04	0,30	0,8548	0,1129	0,7419	-0,2980	0,1948
8	6,02	0,28	0,7311	0,1129	0,6183		
9	6,00	0,26	0,6075	0,1129	0,4946	-0,1237	0,0808
10	5,96	0,22	0,3602	0,1129	0,2473	-0,2473	0,1617
11	5,94	0,20	0,2365	0,1129	0,1237	-0,1237	0,0808
12	5,92	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	-0,1237	0,0808
13	5,92	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,92	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,92	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXIX. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 5 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,26	0,58	2,5859	0,1129	2,4730		
1	6,22	0,54	2,3386	0,1129	2,2257	-0,4946	0,2829
2	6,18	0,50	2,0913	0,1129	1,9784	-0,4946	0,2829
3	6,14	0,46	1,8440	0,1129	1,7311	-0,4946	0,2829
4	6,10	0,42	1,5967	0,1129	1,4838	-0,4946	0,2829
5	6,06	0,38	1,3494	0,1129	1,2365	-0,4946	0,2829
6	6,02	0,34	1,1021	0,1129	0,9892	-0,4946	0,2829
7	5,98	0,30	0,8548	0,1129	0,7419	-0,2980	0,1704
8	5,96	0,28	0,7311	0,1129	0,6183		
9	5,94	0,26	0,6075	0,1129	0,4946	-0,1237	0,0707
10	5,90	0,22	0,3602	0,1129	0,2473	-0,2473	0,1415
11	5,88	0,20	0,2365	0,1129	0,1237	-0,1237	0,0707
12	5,86	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	-0,1237	0,0707
13	5,86	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,86	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,86	0,18	0,1129	0,1129	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXX. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 6 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,24	0,54	2,5859	0,0625	2,5234		
1	6,20	0,50	2,3203	0,0625	2,2578	-0,5312	0,3395
2	6,16	0,46	2,0547	0,0625	1,9922	-0,5312	0,3395
3	6,12	0,42	1,7890	0,0625	1,7265	-0,5312	0,3395
4	6,08	0,38	1,5234	0,0625	1,4609	-0,5312	0,3395
5	6,04	0,34	1,2578	0,0625	1,1953	-0,5312	0,3395
6	6,00	0,30	0,9922	0,0625	0,9297	-0,5312	0,3395
7	5,96	0,26	0,7265	0,0625	0,6641	-0,3200	0,2045
8	5,94	0,24	0,5937	0,0625	0,5312		
9	5,92	0,22	0,4609	0,0625	0,3984	-0,1328	0,0849
10	5,90	0,20	0,3281	0,0625	0,2656	-0,1328	0,0849
11	5,88	0,18	0,1953	0,0625	0,1328	-0,1328	0,0849
12	5,86	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	-0,1328	0,0849
13	5,86	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,86	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,86	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 7 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg.H_2O}{h.m^2}\right)$
0	6,34	0,56	2,5859	0,0245	2,5614		
1	6,30	0,52	2,3298	0,0245	2,3052	-0,5123	0,3234
2	6,26	0,48	2,0736	0,0245	2,0491	-0,5123	0,3234
3	6,22	0,44	1,8175	0,0245	1,7930	-0,5123	0,3234
4	6,18	0,40	1,5614	0,0245	1,5368	-0,5123	0,3234
5	6,14	0,36	1,3052	0,0245	1,2807	-0,5123	0,3234
6	6,10	0,32	1,0491	0,0245	1,0245	-0,5123	0,3234
7	6,06	0,28	0,7930	0,0245	0,7684	-0,3086	0,1948
8	6,02	0,24	0,5368	0,0245	0,5123		
9	6,00	0,22	0,4087	0,0245	0,3842	-0,1281	0,0808
10	5,96	0,18	0,1526	0,0245	0,1281	-0,2561	0,1617
11	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	-0,1281	0,0808
12	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,94	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 8 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,32	0,62	1,7791	0,0758	1,7033		
1	6,28	0,58	1,5998	0,0758	1,5240	-0,3586	0,3858
2	6,24	0,54	1,4205	0,0758	1,3447	-0,3586	0,3858
3	6,20	0,50	1,2412	0,0758	1,1654	-0,3586	0,3858
4	6,16	0,46	1,0619	0,0758	0,9861	-0,3586	0,3858
5	6,12	0,42	0,8826	0,0758	0,8068	-0,3586	0,3858
6	6,08	0,38	0,7033	0,0758	0,6275	-0,3586	0,3858
7	6,04	0,34	0,5240	0,0758	0,4482	-0,2160	0,2324
8	6,02	0,32	0,4344	0,0758	0,3586		
9	6,00	0,30	0,3447	0,0758	0,2689	-0,0896	0,0965
10	5,96	0,26	0,1654	0,0758	0,0896	-0,1793	0,1929
11	5,94	0,24	0,0758	0,0758	0,0000	-0,0896	0,0965
12	5,94	0,24	0,0758	0,0758	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,94	0,24	0,0758	0,0758	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,94	0,24	0,0758	0,0758	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,94	0,24	0,0758	0,0758	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 9 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre X (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,22	0,54	2,5859	0,0625	2,5234		
1	6,18	0,50	2,3203	0,0625	2,2578	-0,5312	0,3329
2	6,14	0,46	2,0547	0,0625	1,9922	-0,5312	0,3329
3	6,10	0,42	1,7890	0,0625	1,7265	-0,5312	0,3329
4	6,06	0,38	1,5234	0,0625	1,4609	-0,5312	0,3329
5	6,02	0,34	1,2578	0,0625	1,1953	-0,5312	0,3329
6	5,98	0,30	0,9922	0,0625	0,9297	-0,5312	0,3329
7	5,94	0,26	0,7265	0,0625	0,6641	-0,3200	0,2005
8	5,90	0,22	0,4609	0,0625	0,3984		
9	5,88	0,20	0,3281	0,0625	0,2656	-0,1328	0,0832
10	5,86	0,18	0,1953	0,0625	0,1328	-0,1328	0,0832
11	5,84	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	-0,1328	0,0832
12	5,84	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,84	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,84	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,84	0,16	0,0625	0,0625	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXIV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 10 del lote 2**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{e,0}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,38	0,56	2,5859	0,0245	2,5614		
1	6,34	0,52	2,3298	0,0245	2,3052	-0,5123	0,3173
2	6,30	0,48	2,0736	0,0245	2,0491	-0,5123	0,3173
3	6,26	0,44	1,8175	0,0245	1,7930	-0,5123	0,3173
4	6,22	0,40	1,5614	0,0245	1,5368	-0,5123	0,3173
5	6,18	0,36	1,3052	0,0245	1,2807	-0,5123	0,3173
6	6,14	0,32	1,0491	0,0245	1,0245	-0,5123	0,3173
7	6,10	0,28	0,7930	0,0245	0,7684	-0,3086	0,1912
8	6,06	0,24	0,5368	0,0245	0,5123		
9	6,02	0,20	0,2807	0,0245	0,2561	-0,2561	0,1587
10	6,00	0,18	0,1526	0,0245	0,1281	-0,1281	0,0793
11	5,98	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	-0,1281	0,0793
12	5,98	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,98	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
14	5,98	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000
15	5,98	0,16	0,0245	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXV. Masas y humedades para el lote 3**

Bandeja	Masa de bandeja + materia prima (Kg)	Masa de la bandeja (Kg)	Masa de la materia prima inicial (Kg)	Porcentaje de humedad (%)	Masa de sólido seco (Kg)
1	6,36	5,80	0,56	73,4816	0,1485
2	6,30	5,82	0,48	73,4816	0,1272
3	6,38	5,74	0,64	73,4816	0,1697
4	6,30	5,78	0,52	73,4816	0,1378
5	6,22	5,68	0,54	73,4816	0,1431
6	6,34	5,82	0,52	73,4816	0,1378
7	6,26	5,76	0,50	73,4816	0,1325
8	6,12	5,70	0,42	73,4816	0,1113
9	6,02	5,70	0,32	73,4816	0,0848
10	6,04	5,76	0,28	73,4816	0,0742

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXVI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 1 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t X_i$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,36	0,56	2,7710	0,0774	2,6936		
1	6,30	0,50	2,3669	0,0774	2,2895	-0,8081	0,3465
2	6,24	0,44	1,9629	0,0774	1,8855	-0,8081	0,3465
3	6,18	0,38	1,5589	0,0774	1,4815	-0,8081	0,3465
4	6,12	0,32	1,1548	0,0774	1,0774	-0,8081	0,3465
5	6,06	0,26	0,7508	0,0774	0,6734	-0,8081	0,3465
6	6,02	0,22	0,4815	0,0774	0,4040	-0,5387	0,2310
7	5,98	0,18	0,2121	0,0774	0,1347	-0,2694	0,1155
8	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	-0,1347	0,0577
9	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,96	0,16	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXVII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 2 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,30	0,48	2,7710	0,0999	2,6711		
1	6,26	0,44	2,4567	0,0999	2,3569	-0,6285	0,2704
2	6,20	0,38	1,9854	0,0999	1,8855	-0,9427	0,4056
3	6,14	0,32	1,5140	0,0999	1,4141	-0,9427	0,4056
4	6,10	0,28	1,1997	0,0999	1,0999	-0,6285	0,2704
5	6,06	0,24	0,8855	0,0999	0,7856	-0,6285	0,2704
6	6,02	0,20	0,5712	0,0999	0,4714	-0,6285	0,2704
7	5,98	0,16	0,2570	0,0999	0,1571	-0,3142	0,1352
8	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	-0,1571	0,0676
9	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,96	0,14	0,0999	0,0999	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXVIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 3 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,38	0,64	2,7710	0,0606	2,7104		
1	6,32	0,58	2,4174	0,0606	2,3569	-0,7071	0,3416
2	6,26	0,52	2,0639	0,0606	2,0033	-0,7071	0,3416
3	6,20	0,46	1,7104	0,0606	1,6498	-0,7071	0,3416
4	6,14	0,40	1,3569	0,0606	1,2963	-0,7071	0,3416
5	6,10	0,36	1,1212	0,0606	1,0606	-0,4714	0,2277
6	6,06	0,32	0,8855	0,0606	0,8249	-0,4714	0,2277
7	6,02	0,28	0,6498	0,0606	0,5892	-0,2357	0,1139
8	5,98	0,24	0,4141	0,0606	0,3535	-0,2357	0,1139
9	5,94	0,20	0,1784	0,0606	0,1178	-0,2357	0,1139
10	5,92	0,18	0,0606	0,0606	0,0000	-0,1178	0,0569
11	5,92	0,18	0,0606	0,0606	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,92	0,18	0,0606	0,0606	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,92	0,18	0,0606	0,0606	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XXXIX. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 4 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,30	0,52	2,7710	0,0153	2,7557		
1	6,24	0,46	2,3359	0,0153	2,3206	-0,8702	0,3368
2	6,18	0,40	1,9008	0,0153	1,8855	-0,8702	0,3368
3	6,12	0,34	1,4656	0,0153	1,4504	-0,8702	0,3368
4	6,08	0,30	1,1756	0,0153	1,1603	-0,5802	0,2246
5	6,04	0,26	0,8855	0,0153	0,8702	-0,5802	0,2246
6	6,00	0,22	0,5954	0,0153	0,5802	-0,5802	0,2246
7	5,96	0,18	0,3053	0,0153	0,2901	-0,2901	0,1123
8	5,94	0,16	0,1603	0,0153	0,1450	-0,1450	0,0561
9	5,92	0,14	0,0153	0,0153	0,0000	-0,1450	0,0561
10	5,92	0,14	0,0153	0,0153	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,92	0,14	0,0153	0,0153	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,92	0,14	0,0153	0,0153	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,92	0,14	0,0153	0,0153	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XL. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 5 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,22	0,54	2,7710	0,1173	2,6536		
1	6,16	0,48	2,3520	0,1173	2,2347	-0,8380	0,3475
2	6,10	0,42	1,9330	0,1173	1,8157	-0,8380	0,3475
3	6,06	0,38	1,6536	0,1173	1,5363	-0,5587	0,2316
4	6,02	0,34	1,3743	0,1173	1,2570	-0,5587	0,2316
5	5,98	0,30	1,0950	0,1173	0,9777	-0,5587	0,2316
6	5,94	0,26	0,8157	0,1173	0,6983	-0,5587	0,2316
7	5,90	0,22	0,5363	0,1173	0,4190	-0,2793	0,1158
8	5,86	0,18	0,2570	0,1173	0,1397	-0,2793	0,1158
9	5,84	0,16	0,1173	0,1173	0,0000	-0,1397	0,0579
10	5,84	0,16	0,1173	0,1173	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,84	0,16	0,1173	0,1173	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,84	0,16	0,1173	0,1173	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,84	0,16	0,1173	0,1173	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLI. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 6 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,34	0,52	2,7710	0,1603	2,6107		
1	6,28	0,46	2,3359	0,1603	2,1756	-0,8702	0,4125
2	6,22	0,40	1,9008	0,1603	1,7405	-0,8702	0,4125
3	6,16	0,34	1,4656	0,1603	1,3053	-0,8702	0,4125
4	6,12	0,30	1,1756	0,1603	1,0153	-0,5802	0,2750
5	6,08	0,26	0,8855	0,1603	0,7252	-0,5802	0,2750
6	6,04	0,22	0,5954	0,1603	0,4351	-0,5802	0,2750
7	6,00	0,18	0,3053	0,1603	0,1450	-0,2901	0,1375
8	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	-0,1450	0,0687
9	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,98	0,16	0,1603	0,1603	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 7 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,26	0,50	2,7710	0,0559	2,7151		
1	6,22	0,46	2,4693	0,0559	2,4134	-0,6034	0,2503
2	6,14	0,38	1,8659	0,0559	1,8101	-1,2067	0,5006
3	6,08	0,32	1,4134	0,0559	1,3576	-0,9050	0,3754
4	6,02	0,26	0,9609	0,0559	0,9050	-0,9050	0,3754
5	5,98	0,22	0,6592	0,0559	0,6034	-0,6034	0,2503
6	5,96	0,20	0,5084	0,0559	0,4525	-0,3017	0,1251
7	5,92	0,16	0,2067	0,0559	0,1508	-0,3017	0,1251
8	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	-0,1508	0,0626
9	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,90	0,14	0,0559	0,0559	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLIII. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 8 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,12	0,42	2,7710	0,0774	2,6936		
1	6,06	0,36	2,2323	0,0774	2,1548	-1,0774	0,4508
2	6,00	0,30	1,6936	0,0774	1,6161	-1,0774	0,4508
3	5,94	0,24	1,1548	0,0774	1,0774	-1,0774	0,4508
4	5,90	0,20	0,7957	0,0774	0,7183	-0,7183	0,3005
5	5,88	0,18	0,6161	0,0774	0,5387	-0,3591	0,1503
6	5,86	0,16	0,4366	0,0774	0,3591	-0,3591	0,1503
7	5,84	0,14	0,2570	0,0774	0,1796	-0,1796	0,0751
8	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	-0,1796	0,0751
9	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,82	0,12	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLIV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 9 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ , $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{eq}$ (-)	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{Kg H_2O}{h m^2}\right)$
0	6,02	0,32	2,7710	0,1784	2,5925		
1	5,98	0,28	2,2996	0,1784	2,1212	-0,9427	0,3943
2	5,94	0,24	1,8282	0,1784	1,6498	-0,9427	0,3943
3	5,90	0,20	1,3569	0,1784	1,1784	-0,9427	0,3943
4	5,86	0,16	0,8855	0,1784	0,7071	-0,9427	0,3943
5	5,84	0,14	0,6498	0,1784	0,4714	-0,4714	0,1972
6	5,82	0,12	0,4141	0,1784	0,2357	-0,4714	0,1972
7	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	-0,2357	0,0986
8	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000
9	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,80	0,10	0,1784	0,1784	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLV. Datos utilizados para la elaboración de las curvas de secado de la bandeja 10 del lote 3**

Corrida	Masa de bandeja y materia prima (Kg)	Masa de materia prima (Kg)	Contenido de humedad en el tiempo $t$ $X_t$ (-)	Contenido de humedad en el equilibrio $X_{\text{eq}}(-)$	Contenido de humedad libre $X$ (-)	$\frac{dX}{dt}$ (1/h)	Velocidad de secado R $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{h m}^2}\right)$
0	6,04	0,28	2,7710	0,0774	2,6936		
1	6,00	0,24	2,2323	0,0774	2,1548	-1,0774	0,4841
2	5,96	0,20	1,6936	0,0774	1,6161	-1,0774	0,4841
3	5,94	0,18	1,4242	0,0774	1,3468	-0,5387	0,2420
4	5,92	0,16	1,1548	0,0774	1,0774	-0,5387	0,2420
5	5,90	0,14	0,8855	0,0774	0,8081	-0,5387	0,2420
6	5,88	0,12	0,6161	0,0774	0,5387	-0,5387	0,2420
7	5,86	0,10	0,3468	0,0774	0,2694	-0,2694	0,1210
8	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	-0,2694	0,1210
9	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
10	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
11	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
12	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000
13	5,84	0,08	0,0774	0,0774	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLVI. Tiempos de secado**

<b>Bandeja</b>	<b>Tiempo (h)</b>		
	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>
1	5,75	4,83	5,00
2	6,75	6,83	5,00
3	6,75	8,83	7,00
4	7,75	7,83	6,00
5	7,75	7,83	6,00
6	6,75	7,83	5,00
7	6,75	6,83	5,00
8	7,75	6,83	5,00
9	6,75	6,83	4,00
10	6,75	6,83	5,00

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XLVII. Resumen de datos utilizados para realizar el análisis de varianza de un factor de los 3 lotes de secado**

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
<b>Columna 1</b>	10	69,5	6,95	0,4000
<b>Columna 2</b>	10	71,3	7,13	1,1222
<b>Columna 3</b>	10	53,0	5,30	0,6778

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla XLVIII. Análisis de varianza de un factor para los tiempos de secado de los 3 lotes de secado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	20,346	2	10,1730	13,87	7,1748E-05	3,3541
Dentro de los grupos	19,800	27	0,7333			
<b>Total</b>	<b>40,146</b>	<b>29</b>				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XLIX. Datos utilizados para determinar si existe una variación significativa entre los tiempos de secado por medio de la prueba de Tukey**

Variable	Valor
<b>Multiplicador (<math>q_{\alpha}</math>)</b>	3.49
<b>Cuadrado del error medio (MSE)</b>	0.73
<b>Tamaño de muestra (N)</b>	10.00
<b>Diferencia honestamente significativa (HSD)</b>	0.95

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla L. Comparación de medias en los tiempos de secado para cada tamaño de partícula**

Tamaño de partícula	7 mm	5 mm	3 mm
7 mm		0.18	1.65
5 mm			1.83
3 mm			
Diferencia honestamente significativa (HSE)	<b>0.95</b>		

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LI. Resumen de datos utilizados para el análisis de varianza de un factor sobre los datos obtenidos a partir de la escala hedónica de 5 puntos**

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
<b>Columna 1</b>	30	123	4.1000	0.7138
<b>Columna 2</b>	30	134	4.4667	0.3954
<b>Columna 3</b>	30	124	4.1333	0.6023
<b>Columna 4</b>	30	123	4.1000	0.7828

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla LII. Análisis de varianza de un factor sobre los datos obtenidos a partir de la escala hedónica de 5 puntos**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.8667	3	0.9556	1.5324	0.2098	2.6828
Dentro de los grupos	72.3333	116	0.6236			
<b>Total</b>	<b>75.2000</b>	<b>119</b>				

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LIII. Datos utilizados para determinar si existe una variación significativa entre los puntajes obtenidos en la escala hedónica por medio de la prueba de Tukey**

Variable	Valor
<b>Multiplicador (<math>q_\alpha</math>)</b>	3.69
<b>Cuadrado del error medio (MSE)</b>	0.69
<b>Tamaño de muestra (N)</b>	30.00
<b>Diferencia honestamente significativa (HSD)</b>	0.56

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla LIV. Comparación de medias**

Muestra	920	911	590	493
920		<b>0.57</b>	0.00	0.13
911			<b>0.57</b>	<b>0.70</b>
590				0.13
493				
Diferencia honestamente significativa (HSE)				<b>0.56</b>

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla LV. Encuestas y promedios para realizar el análisis proximal**

Encuestado/muestra	920	911	590	493
1	2	4	5	4
2	3	4	4	5
3	3	4	3	2
4	4	5	3	3
5	4	4	4	4
6	3	4	4	4
7	4	4	5	5
8	5	4	4	3
9	5	4	4	4
10	3	5	4	3
11	5	5	4	3
12	4	5	3	2
13	3	4	4	5
14	4	5	3	5
15	5	5	3	3
16	5	5	3	3
17	4	4	4	4
18	5	3	4	4
19	5	5	5	5
20	5	5	5	5
21	4	3	4	3
22	4	5	3	5
23	4	5	5	5
24	5	5	4	5
25	4	5	5	4
26	4	5	5	4
27	3	4	5	4
28	3	5	3	3
29	3	5	3	2
30	3	5	3	3
<b>Promedio</b>	3.93	4.50	3.93	3.80
<b>Desviación standard</b>	0.87	0.63	0.78	1.00

Dónde: 920: 70% de harina de banano, 911: 60% de harina de banano, 590: 50% de harina de banano, 493: 40% de harina de banano.

Fuente: elaboración propia.



Continuación de apéndice 2.

**Tabla LVI. Temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y humedades relativas para el lote 1**

Corrida	Tiempo (h:min)	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Humedad relativa por método gráfico (%)	Humedad relativa por método Ferrel (%)	Humedad relativa por el método Carrier (%)
0	0:00	25	24	-		
1	0:15	40	24	28	27,89	28,63
2	0:30	40	24	28	27,89	28,63
3	0:30	40	25	30	31,15	31,88
4	0:30	40	26	34	34,55	35,25
5	0:30	40	29	45	45,61	46,24
6	0:30	45	29	32	32,07	32,77
7	0:30	45	29	32	32,07	32,77
8	0:30	44	31	40	41,02	41,67
9	0:30	40	28	40	41,77	42,43
10	0:30	40	29	45	45,61	46,24
11	pausa					
12	0:30	40	28	40	41,77	42,43
13	0:30	44	30	38	37,65	38,32
14	1:00	44	26	25	25,45	26,19
15	1:00	40	26	34	34,55	35,25
16	1:00	44	26	25	25,45	26,19
17	2:00	40	25	30	31,15	31,88

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla LVII. Temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y humedades relativas para el lote 2**

Corrida	Tiempo (h:min)	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Humedad relativa por método gráfico (%)	Humedad relativa por método Ferrel (%)	Humedad relativa por el método Carrier (%)
0	0:00	24	23	-		
1	0:30	40	26	33	34,55	35,25
2	0:30	44	30	38	37,65	38,32
3	0:30	40	27	38	38,09	38,77
4	0:30	40	26	33	34,55	35,25
5	0:30	40	27	38	38,09	38,77
6	0:30	44	28	32	31,30	32,01
7	0:50	44	29	35	34,41	35,10
8	pausa					
9	1:00	44	28	32	31,30	32,01
10	1:00	40	27	38	38,09	38,77
11	1:00	40	26	33	34,55	35,25
12	1:00	44	31	40	41,02	41,67
13	1:00	44	29	35	34,41	35,10
14	1:00	40	26	33	34,55	35,25
15	2:00	44	26	25	25,45	26,19

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Tabla LVIII. Temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y humedades relativas para el lote 3**

Corrida	Tiempo (h:min)	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Humedad relativa por método gráfico (%)	Humedad relativa por método Ferrel (%)	Humedad relativa por el método Carrier (%)
0	0:00	26	24	-		
1	0:30	45	26	23	23,57	24,30
2	0:30	48	28	24	23,44	24,16
3	0:30	40	26	34	34,55	35,25
4	0:30	42	26	29	29,66	30,39
5	0:30	45	29	32	32,07	32,77
6	0:30	40	26	34	34,55	35,25
7	1:00	42	28	35	36,16	36,85
8	1:00	40	26	34	34,55	35,25
9	1:00	42	27	32	32,85	33,55
10	1:00	40	26	34	34,55	35,25
11	1:00	42	28	35	36,16	36,85
12	1:00	40	26	34	34,55	35,25
13	1:00	46	28	26	27,09	27,81

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

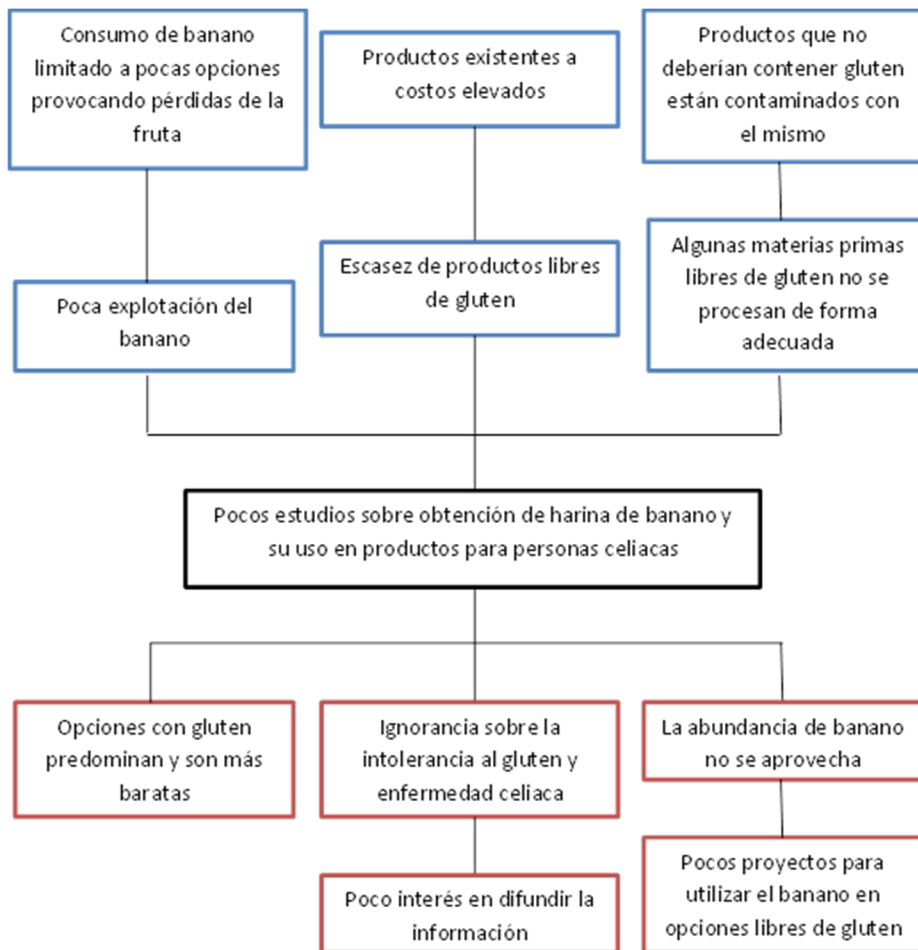
**Tabla LIX. Tabla de requisitos académicos**

Pasos						
1ero.	2do.	3ero.	4to.	5to.	6to.	7mo.
Carera	Área	Tema Genérico	Tema específico	Especificación	Problema a resolver	Hipótesis
Licenciatura en Ingeniería Química	Química	Análisis Cuantitativo	Volumetría Cantidad de masa	Concentración de oxidante para desinfección, rendimiento de harina obtenido	Pocos estudios sobre obtención de harina de banano y su uso en productos para personas celiacas	En el proceso de secado de banano verde (variedad Cavendish) en un secador de bandejas, el tamaño de partícula puede afectar significativamente el tiempo de secado
	Operaciones Unitarias	IQ1	Balance de masa	Mediciones y cálculos en base a masa inicial y masa final		
		IQ3	Transferencia de Calor	Formas de transferencia de calor dentro del secador		
		IQ4, IQ5	Transferencia de masa	Cálculos y curvas de secado		
		Laboratorio de IQ2	Proceso de secado	Proceso de secado		
	Fisicoquímica	Fisicoquímica	Propiedades Fisicoquímicas	Porcentaje de humedad		
	Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística	Análisis estadístico de datos	Análisis de Varianza		

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 2.

**Figura 1. Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. **Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**



Fuente: Laboratorio de Extractos Vegetales (LIEXVE)

Anexo 2. **Algunas etapas del procedimiento para la obtención de la harina de banano**



Fuente: Laboratorio de Extractos Vegetales (LIECVE)

**Descripción:** 1. Materia prima colocada sobre una de las bandejas del secador. 2. Medida de la masa de la materia prima y la bandeja por medio de una báscula. 3. Bandejas enumeradas y colocadas dentro del secador para. 4. Materia prima seca, empaquetada y enumerada. 5. Materia prima seca molida dentro de la licuadora industrial.

### Anexo 3. Resultados obtenidos en el análisis proximal

Elaborado por: Aura Marina de Marroquin  
Autorizado por: Lic. Miguel Angel Rodenas

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal

**BROMATOLOGÍA**  
-ANÁLISIS DE NUTRIENTES BRUTA BRUTOS-

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala  
Teléfono: 2418307 Teléfono: 2418307 ext: 1676  
E-mail: bromato2000@yahoo.es

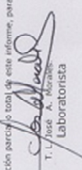
No. 532


Solicitado por: **RONALD ALEJANDRO GAITAN SANTA CRUZ**  
Fecha de recibo: **15-10-2014**

Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA**  
Fecha de realización: **DEL 21 AL 24-10-2014**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA cruda %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	E.D. Mol/Lg
710	MARINA DE BANANO VERDE	SECA	13.58	88.42	17.72	0.87	3.95	2.66	74.80	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO		.....	.....	15.31	0.75	3.42	2.30	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	SECA		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

**OBSERVACIONES:**  
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción por el total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 2418307.

  
 T. José A. Morales  
 Laboratorista

  
 Lic. Miguel Angel Rodenas  
 Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2014/532  
 24/10/14

Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.



