



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Centro Interdisciplinario de Investigación para
el Desarrollo Integral Regional, unidad Oaxaca

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento
de Recursos Naturales

“Secado convectivo de fresa y su efecto en la
actividad antioxidante”

Tesis
para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta
Ruiz Hernández Mónica Yaneth

Directores de tesis:
Dra. Lilia Leticia Méndez Lagunas y Dr. Mario Gonzalo
Vizacarra Mendoza

Santa Cruz Xoxocotlan, Oaxaca.

Junio del 2016



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 24 del mes de junio del año 2016, el (la) que suscribe **Ruiz Hernández Mónica Yaneth**, alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro A140035, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dra. Lilia Leticia Méndez Lagunas y el Dr. Mario Gonzalo Vizcarraga Mendoza y cede los derechos del trabajo titulado: **Secado convectivo de fresa y su efecto en la actividad antioxidante** al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó monica.ruiz.hdz@gmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ruiz Hernández Mónica Yaneth



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

10

11

Resumen

12

13

14 Las fresas son reconocidas por su valor nutricional y propiedades nutraceuticas. La
15 actividad antioxidante en la fresa está dada principalmente por antocianinas y fenoles,
16 compuestos que son termolábiles. Estos frutos son altamente padeceros debido a su alto
17 contenido de agua, además que sufren cambios físicos y químicos importantes al momento
18 de la cosecha.

19 Uno de los métodos de conservación de alimentos más importantes es el secado, ya que
20 al disminuir el contenido de agua favorece la disminución de microorganismos, alargando
21 la vida útil del alimento. Entre los secadores convectivos existen algunos que son viables
22 para el secado de alimentos que contengan componentes termolábiles ya que reportan
23 menores porcentajes de degradación, tal es el caso del lecho fluidizado.

24 El objetivo de este trabajo fue la comparación del secado por lecho (fluidizado y
25 vibrofluidizado) y túnel en el efecto de retención de las propiedades nutraceuticas.

26 Las fresas fueron secadas en cubos con un pretratamiento de CaCl_2 al 1%, a temperaturas
27 de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C para el lecho Fluidizado y túnel. Mientras que para el
28 vibrofluidizado fue de 50°C y 60°C. La carga de los lechos fue de 1 y una velocidad de aire
29 de 9.45 m/s² y para el secador de túnel el material fue expuesto en capa fina, con una
30 velocidad de aire de 1.5 m/s².

31 La cuantificación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante se realizó en
32 material fresco y seco. Y se determinó que a 80 °C en un secador de lecho fluidizado se
33 tiene un porcentaje de retención del 70.36% para antocianinas, 51.06 % para actividad
34 antioxidante y 33.22 % para fenoles superando a los porcentajes de retención del secado
35 de charolas que a la misma temperatura brindo valores de antocianinas del 30.10%,
36 actividad antioxidante del 6.59% y fenoles del 15.16%. Por lo que los valores de retención
37 superiores que presento el secado de lecho fluidizado se le atribuye a su corto tiempo de
38 secado.

39

Agradecimientos

40

41

42

43

44 **CIIDIR unidad Oaxaca** por haberme brindado el apoyo y la infraestructura necesaria, para
45 el desarrollo de esta tesis.

46 **AI CONACYT** por el apoyo otorgado para lograr los objetivos de este trabajo.

47 **Dra. Lilia Méndez Lagunas** por sus asesorías y revisión de esta tesis.

48

Dedicatorias

49

50

51

52 *Dedico este trabajo en primer lugar a Dios porque día a día me enseñó la paciencia,*
53 *tolerancia y perdón a lo largo de este camino, que sin fe y su guía jamás habría llegado.*

54 *A mi padre el Sr. Alfonso Ruiz Ruiz que me enseñó que el trabajo duro tiene recompensa,*
55 *a ser humilde de palabra y corazón. Aceptando las cosas difíciles para después superarlas,*
56 *a ti papá, que siempre estuviste conmigo y que gracias a ti he llegado a ser la persona que*
57 *soy.*

58 *A mi madre la Sra. Asunción Hernández Santiago, la mujer que siempre he querido ser y a*
59 *la que todavía me falta mucho para alcanzar, a ti mamá que siempre estuviste cuanto más*
60 *te necesite y me diste el aliento cuanto era necesario.*

61 *A mi esposo Guillermo Santiago Sánchez que, a pesar de todo, siempre fuiste el primero*
62 *en animarme y nunca me dejaste sola, gracias por desvelarte conmigo por los viajes*
63 *inesperados y por tenerme paciencia cuando ni yo me la tenía.*

64 *Y por último a mi pequeña Elisa que siempre fuiste mi inspiración y la bendición más grande*
65 *que pueda tener y a ti bebe que todavía no te conozco, pero siempre me brindaste la paz y*
66 *la tranquilidad que necesite para terminar esta meta, mis pequeños siempre y por mucho*
67 *serán el logro más importante de toda mi vida.*

68

69

70

71

72 Índice General

73

74 **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN** 12

75

76 1.1 Planteamiento del problema..... 13

77 1.2 Justificación..... 14

78 1.3 Antecedentes..... 15

79 1.4 Objetivo general 17

80 1.5 Objetivo Especifico 17

81 1.6 Hipotesis..... 17

82

83 **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO** 18

84

85 2.1 Fresa 18

86 2.1.1 Estado de madurez 19

87 2.2 Fenoles 20

88 2.2.1 Principales fenoles en fresa 21

89 2.3 Antocianinas 21

90 2.3.1 Estructura y propiedades fisicoquímicas de las antocianinas 21

91 2.3.2 Factores que determinan la estabilidad de las antocianinas 23

92 2.4 Actividad antioxidante 24

93 2.5 Secado..... 25

94 2.5.1 Proceso básico de secado 25

95 2.5.2 Mecanismos de secado 27

96 2.5.2.1 Periodos de secado 28

97 2.5.2.2 Periodos de velocidad constante 29

98 2.5.2.3 Periodo de velocidad decreciente..... 29

99 2.6 Fluidización 30

100 2.6.1 Velocidad mínima de fluidización 30

101 2.6.2 Tipos de fluidización 31

102 2.6.3 Clasificación de partículas según geldart 31

103 2.7 Lecho fluidizado 32

104	2.8 Lecho vibrofluidizado	33
105	2.9 Aplicaciones	35
106		
107	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	36
108		
109	3.1 Material.....	36
110	3.1.1 Selección del material.....	36
111	3.1.2 Pretratamiento	36
112	3.2 Secado	37
113	3.2.1 Equipos	37
114	3.2.1.1 Secador de lecho vibrofluidizado.....	37
115	3.2.1.2 Secador de lecho fluidizado.....	38
116	3.2.1.3 Secador de túnel	39
117	3.2.2 Método.....	40
118	3.2.2.1 Secado de lecho fluidizado y vibrofluidizado	40
119	3.2.2.2 Secado de túnel.....	40
120	3.3 Propiedades físicas	41
121	3.3.1 Humedad.....	41
122	3.3.2 Color	41
123	3.4 Propiedades nutraceuticas.....	42
124	3.4.1 Fenoles.....	42
125	3.4.1.1 Preparación de extractos fenolicos	43
126	3.4.1.2 Curva de calibración	43
127	3.4.1.3 Cuantificación en muestras	44
128	3.4.2 Actividad antioxidante	44
129	3.4.2.1 Preparación de extractos para actividad antioxidante.....	45
130	3.4.2.2 Curva de calibración	45
131	3.4.1.3 Cuantificación en muestras	45
132	3.4.3 Antocianinas	46
133	3.4.3.1 Preparación de extractos	46
134	3.4.3.2 Cuantificación de muestras	46
135	3.5 Diseño experimental	47
136		

137	CAPITULO IV. RESULTADOS	48
138		
139	4.1 Pretratamiento	48
140	4.2 Cinéticas de secado	48
141	4.3 Curvas de rapidez de secado	50
142	4.4 Antocianinas	52
143	4.5 Actividad antioxidante	55
144	4.6 Fenoles totales	58
145	4.7 Color.....	61
146	4.7.1 Análisis de parámetros de color	61
147	4.7.2 Análisis de cinéticas de color.....	63
148		
149	CAPITULO V. CONCLUSIONES	69
150		
151	ANEXOS	70
152		
153	Anexo 1: Diagrama determinación de la cuantificación de actividad antioxidante.	70
154	Anexo 2: Diagrama para la cuantificación de fenoles totales.....	71
155	Anexo 3: Tablas de antocianinas en el lecho fluidizado y túnel.....	72
156	Anexo 4: Tablas de concentración de actividad antioxidante en el lecho fluidizado y	
157	túnel.....	73
158	Anexo 5: Tablas de concentración de fenoles totales en el secado de lecho fluidizado y	
159	túnel.....	74
160	Anexo 6 Análisis de color para el LF Y T	75
161	Anexo 7. Valores finales para antocianinas, actividad antioxidante y fenoles en el secado	
162	de T, VF Y LF.....	77
163		
164	BIBLIOGRAFÍA	78
165		
166		
167		
168		
169		

170

171 **Índice de tablas**

Tabla 1 Antecedentes acerca de la capacidad de actividad antioxidante en fresa.....	16
Tabla 2. Concentraciones para la curva de calibración del método de Folin-Ciocalteu.....	44
Tabla 3. Concentraciones de los puntos para la curva estándar del método DPPH.....	45
Tabla 4 Tiempos de secado para un contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kg ss.....	48
Tabla 5. Rapidez de secado para un contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kgss.....	50
Tabla 6. Parámetros de color para muestras finales en el LF, VF y T.....	61
Tabla 7. Valores de diferencia de color total para los diferentes secadores.....	67
Tabla 8. Análisis de las concentraciones de antocianinas a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.....	72
Tabla 9. Análisis de las concentraciones de antocianinas a través del tiempo de secado por medio del túnel.....	72
Tabla 10. Análisis de las concentraciones de actividad antioxidante a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.....	73
Tabla 11. Concentraciones de actividad antioxidante en muestras secadas por el túnel.....	73
Tabla12. Análisis de las concentraciones de fenoles totales a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.....	74
Tabla 13. Concentraciones de fenoles totales en muestras secadas por el túnel.....	74
Tabla 14. Datos de color para muestras secadas en el lecho fluidizado en diferentes tiempos.....	75
Tabla 15. Datos de muestras del secador de túnel en diferentes tiempos.....	76

172

173

Índice de figuras

Figura 1 Sección de una fresa (sorosis) 1: Nuececilla; 2: Médula; 3: Parénquima; 4: Estambres; 5: sépalos.....	18
Figura 2. Cambios en el estado de maduración de la fresa a partir de su floración.....	19
Figura 3. Cambios en la fruta referidos al diámetro trasversal y vertical en relación al peso fresco.....	20
Figura 4. Estructura y sustituyentes de las antocianinas.....	22
Figura 5. Proceso básico de secado.....	26
Figura 6. Periodos del secado.....	28
Figura 7. Clasificación de Geldart para partículas según su comportamiento al ser fluidizadas con aire a la temperatura ambiente.....	31
Figura 8. Evolución de la pérdida de carga en el lecho Δp con respecto de la velocidad superficial del gas U.....	34
Figura 9. Se muestran estas curvas que son similares a las exhibidas para los lechos fluidizados normales.....	34
Figura 10. Proceso de cubicado y escaldado de la materia prima.....	36
Figura 11. Secador de lecho vibrofluidizado a nivel planta piloto de la UAM unidad Iztapalapa con un recinto de secado adaptado.....	37
Figura 12. Secador de lecho fluidizado.....	38
Figura 13. Secador de túnel.....	39
Figura 14. Aplicación del colorímetro para la determinación del color en muestras de fresa seca.....	42
Figura 15. Proceso de molienda para la extracción de compuestos nutraceuticos.....	43
Figura 16. Proceso para la extracción de compuestos nutraceuticos.....	43

177 **Índice de graficas**

178

Grafica 1 Cinéticas de secado para el secador de lecho fluidizado (LF) y vibrofluidizado (VF).....	49
Grafica 2. Cinéticas de rapidez de secado para el secador de lecho fluidizado (LF), túnel (T) y vibrofluidizado (VF) en cubos de fresa.....	51
Grafica 3. Cinéticas de degradación de antocianinas.....	53
Grafica 4. Porcentaje de retención de antocianinas.....	55
Grafica 5. Cinéticas de degradación de actividad antioxidante.....	56
Grafica 6. Retención de actividad antioxidante.....	57
Grafica 7. Cinéticas de degradación para fenoles.....	59
Grafica 8. Retención (%) del contenido de fenoles totales.....	60
Grafica 9. Cambio de L* con respecto al tiempo para el LF y T.....	64
Grafica 10. Cambio de C* con respecto al tiempo en un secador de lecho fluidizado(LF) y Túnel (T).....	65
Grafica 11. Cambio de L* con respecto al tiempo en un secador de lecho fluidizado (LF) y túnel (T).....	66
Grafica 12. Cinéticas de cambio de color total.....	68

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

179

180

181

182

183 Una mala alimentación provoca que surjan diferentes enfermedades, por lo cual han
184 surgido investigaciones en torno a compuestos nutraceuticos que ayudan en la prevención
185 de estas. Los compuestos nutraceuticos son fitoquímicos que se encuentran disponibles en
186 plantas, vegetales o verduras. Un ejemplo de ello son las antocianinas y grupos fenólicos
187 que en conjunto generan la actividad antioxidante (Shahidi et al. 2009).

188 Las fresas son fuente importante de actividad antioxidante, pero los compuestos que
189 generan este efecto se degradan desde la cosecha de la fruta, ya que es un alimento
190 altamente perecedero por tener un contenido de agua muy alto. (Carvajal et al. 2012)

191 Para la conservación de los alimentos actualmente se han desarrollado diversas
192 tecnologías que alargan su vida útil, entre los procesos de conservación de alimentos
193 destaca el secado, como una herramienta útil y versátil para este fin.

194 El secado convectivo es un método que se utiliza en su mayoría para la conservación de
195 frutas y verduras. Ante la exposición térmica se ha demostrado que existe la degradación
196 de compuestos fitoquímicos.

197 Para el secado de materiales termolábiles se han desarrollado secadores como el de lecho
198 fluidizado el cual basa su principio de operación en la fluidización, requisito que suele ser
199 una dificultad técnica para el uso de este método (Carrillo et al. 2008). Existen alternativas
200 para la fluidización de materiales que no sean aerodinámicos como por ejemplo el uso de
201 pretratamientos o la vibración.

202 El objetivo del trabajo es la cuantificación de fenoles, actividad antioxidante y antocianinas
203 en muestras de fresa secadas por lecho fluidizado, vibrofluidizado y secado convectivo.

204

205

206

207

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

208

209

210 La demanda de productos nutracéuticos ha ido en aumento en los últimos años porque
211 han demostrado su efecto preventivo para algunas enfermedades, por lo que se han
212 buscado nuevas alternativas de estudio en diversos vegetales y frutas. Tal es el caso de
213 las fresas que son una fuente importante de actividad antioxidante. Entre los compuestos
214 que dan esta propiedad son los grupos fenólicos y antocianinas (Alarcao et al. 2001).

215 Las propiedades físicas y químicas de los vegetales y frutos sufren alteraciones
216 después de la cosecha. En el caso de las fresas son consideradas frutas altamente
217 perecederas por un contenido de agua elevado que presentan, por lo que son muy
218 susceptibles al ataque microbiano, por lo que el manejo poscosecha se tiene que hacer en
219 medios controlados para poder alargar su vida útil (Maritza et al. 2012).

220 Diversos procesos de conservación pueden ser aplicados, entre otros el secado.
221 Las técnicas de secado de frutas son generalmente costosas ya que implica mayor energía
222 en cuanto a otros procesos de conservación.

223

224 En el caso particular del secado de fresa el primer obstáculo que se presenta es un
225 recubrimiento de cera que obstruye la transferencia directa de masa, lo que alarga los
226 tiempos de secado. Afectando directamente a los compuestos termolábiles como los
227 fenoles, flavonoides y la actividad antioxidante (Doymaz et al. 2008).

228

229 Para el secado de materiales que son sensibles al calor, el secado por lecho ha mostrado
230 mejores resultados en comparación con otros secadores convectivos (Carrillo et al. 2008).
231 Sin embargo, la fluidización es una dificultad técnica que se presenta si los materiales no
232 son aerodinámicos, ya que suelen haber aglomeraciones. En estos casos es fundamental
233 el uso de pretratamientos que faciliten este principio, además que la información acerca de
234 la aplicación de la fluidización en la fresa es limitada.

235

236

237

1.2 JUSTIFICACIÓN

238

239

240

241 La importancia de los alimentos funcionales y nutraceuticos han sido reconocidos por
242 su aportación a la salud y como medio de prevención en algunas enfermedades (Shahidi,
243 F. 2009). Estos alimentos contienen diversos ingredientes derivados de los activos
244 naturales, y en los últimos años, se ha prestado mayor atención a los antioxidantes
245 (Fernandes, et al. 2011). La importancia de los alimentos funcionales y nutraceuticos se
246 basa en la prevención de algunas enfermedades (Shahidi et al. 2009). En general lo
247 antioxidantes han sido estudiados en su mayoría en los últimos años (Fernandes, et al.
248 2011).

249 La actividad antioxidante está estrechamente relacionada con los grupos fenólicos que
250 abarcan a los flavonoides como las antocianinas. Estas se encuentran en las frutas rojas
251 como las fresas (Fennema et al. 1993), siendo sujeto de estudio por su potencial
252 nutraceutico. Las fresas actualmente tienen gran importancia económica ya que son
253 consumidas en diversos productos cotidianos. A nivel nacional, se producen 400 mil
254 toneladas de fresa en 8 mil 890 hectáreas, con un rendimiento promedio de 44.62 toneladas
255 por hectárea y un valor de la producción de 4 mil 475 millones de pesos (SAGARPA, 2015).

256 Existen diversos estudios que han surgido para la conservación de alimentos que
257 son perecederos como las fresas. Tal es el caso del proceso de secado que extiende la
258 vida útil de los alimentos, debido a la inhibición del crecimiento microbiano, y a la vez facilita
259 la trasportación y manipulación de grandes cantidades de alimentos al reducir su volumen
260 (Demarchi et al. 2012).

261 Para el secado materiales sensibles al calor el secador de lecho fluidizado se
262 considera como uno de los procesos con mejores resultados (Carrillo et al. 2008). Para el
263 caso de los alimentos que no tengan una buena fluidización existen los secadores de lecho
264 vibrofluidizado al facilitar la fluidización del solido (Castañeda et al. 2009). Además, tienen
265 la ventaja de emplear tiempos de secado muy cortos lo que disminuye la degradación
266 térmica en los materiales. Son utilizados comúnmente en la industria por no requerir mucho
267 espacio ni complejidad al operador. (Fito et al. 1986)

1.3 ANTECEDENTES

268

269

270 Las fresas son una fruta común e importante para la dieta diaria debido a su alto
271 contenido de nutrientes esenciales y fitoquímicos beneficiosos que tienen una actividad
272 biológica en la salud humana (Giampieri et al. 2012).

273 En las fresas se han estudiado estos compuestos fitoquímicos con mayor profundidad
274 realizándose estudios en conjunto con moras y arándanos donde se determinó la
275 correlación que existe entre los grupos fenólicos y las antocianinas con la actividad
276 antioxidante (Huang et al. 2012). Otro factor que ha sido estudiado es la relación del color
277 de las fresas con las condiciones de cultivo y su actividad antioxidante, para esto fueron
278 evaluadas 6 variedades de fresa. En este trabajo concluyeron que las fresas que contienen
279 más color presentan más actividad antioxidante (Skupień & Oszmiański, 2004).

280 Se ha estudiado condiciones de almacenamiento para las fresas, para lo que se evaluó
281 la composición química y su actividad antioxidante. El estudio se basó en periodos de
282 almacenamientos que fueron de 6 días a diferentes temperaturas (6, 16 y 25 ° C). Los
283 resultados mostraron un aumento de los azúcares solubles totales, antocianinas y el
284 contenido de vitamina C, lo que indica que una nueva biosíntesis había tenido lugar durante
285 el almacenamiento. La temperatura de 6 °C afectó negativamente a las antocianinas y la
286 acumulación de vitamina C, mientras que el contenido de fenoles totales se mantuvo
287 prácticamente igual en todas las temperaturas (Cordenunsi et al. 2005).

288 Otros métodos de conservación para las fresas son por medio de tratamientos térmicos
289 como el secado al vacío, donde se ha relacionado el color y su actividad antioxidante
290 además del perfil nutricional. Concluyendo que son viables para ser secadas para la
291 industria alimentaria (Orak et al. 2011). El secado convectivo ha demostrado tener como
292 desventaja la degradación de actividad antioxidante al final del proceso, sin embargo, en
293 fresas ha mostrado niveles relativamente altos de polifenoles y antocianinas (Michalczk et
294 al. 2008)

295 Un tipo de secador convectivo es el de lecho fluidizado en el cual, el aire caliente se
296 utiliza simultáneamente como agente de secado y de fluidización al ser forzado a pasar a
297 través del lecho de partículas del alimento, con una velocidad alta, suficiente para vencer
298 las fuerzas gravitacionales del producto y mantener las partículas en estado suspendido. El
299 sólido en el lecho fluidizado está sometido a una acción de mezcla muy intensa, lo que

300 permite utilizar aire caliente a temperaturas muy elevadas de este modo se consiguen
301 grandes velocidades de transferencia de materia entre el sólido y el aire, y por lo tanto
302 tiempos de secado muy cortos. En el caso de que el material forme aglomeraciones o tenga
303 propiedades pastosas se considera el uso de un lecho fluidizado vibratorio (Casp & Abril,
304 2003).

305 Han sido estudiado el secado por lecho fluidizado en cebolla, trigo y arroz. (Castañeda et
306 al. 2009). No se ha encontrado evidencia del secado por lecho fluidizado en fresa sin
307 embargo se espera que los estudios anteriormente mencionados favorezcan este proceso.

308 En la tabla 1 se muestran otras investigaciones que brindan información acerca del secado
309 convectivo de fresa.

310 Tabla 1 Antecedentes acerca del secado y capacidad antioxidante en fresa

311

Autor	Investigación
Basu et al. 2014	Strawberry As a Functional Food: An Evidence-Based Review.
Aktas et al. 2013	Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics and Color Parameters of Strawberry Tree (<i>Arbutus Unedo L.</i>) Fruit.
Maritza et al. 2012	Comparative study of various drying processes at physical and chemical properties of strawberries.
Da Silva et al. 2008	Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (<i>Fragaria x Ananassa Duch</i>).
Pallauf et al. 2008	Charecterizacion of the antioxidant composition of strawberry tree (<i>Abust Unedo. L</i>) fruits.

312

313

314

315

316

317

318

319

1.4 OBJETIVO GENERAL

320

321 a) Comparación del secado por lecho (fluidizado y vibrofluidizado) y túnel en el
322 efecto de retención de las propiedades nutraceuticas.

323

324

1.5 OBJETIVO ESPECIFICO

325

326

a) Evaluar el efecto de pretratamientos para la fluidización de la fresa.

327

b) Establecer las condiciones de operación necesarias para la fluidización de la fresa

328

c) Determinar experimentalmente la velocidad mínima de fluidización.

329

d) Extraer y cuantificar el contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y
330 antocianinas.

331

e) Evaluar el efecto del color en el proceso de secado convectivo.

332

333

1.6 HIPOTESIS

334

335 Aplicando un pretratamiento de cloruro de calcio, los cubos de fresa son aerodinámicos,
336 siendo viable el uso del secador de lecho fluidizado y vibrofluidizado. El porcentaje de
337 retención mayor de fenoles totales, antocianinas y actividad antioxidante lo tendrá el
338 secador de lecho fluidizado.

339

340

341

342

343

344

345

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

346

347

348

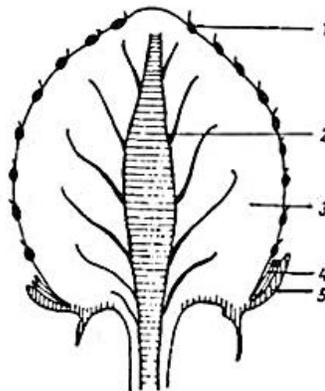
349

2.1 FRESA

350

351 Es una planta que pertenece a la familia de las rosáceas, subfamilia rosaideas y género
352 *fragaria*, que se origina del latín Fragancia. Existía en el pasado más de 45 especies dentro
353 del género *fragaria*, hoy en día se conocen 11 especies. Las principales variedades
354 comerciales son el producto del cruce entre la especie *fragaria Virginia* originaria de
355 Norteamérica con la especie chilena *fragaria Chinloensis*, (Barahona et al. 1992).

356 Se entiende por frutas a todos aquellos frutos comestibles de plantas perennes. El
357 concepto fruto comprende también frutos compuestos, inflorescencias y núcleos de semillas
358 por lo que las fresas entran en la clasificación de Frutas en baya ya que son frutos
359 compuestos en los que el eje floral carnoso asocia diminutos frutos con hueso (Horst-Dieter
360 et al. 2001), ver figura 1.



361

362 Figura 1 Sección de una fresa (sorosio) 1: Nuececilla; 2: Médula; 3: Parénquima; 4:
363 Estambres; 5: sépalos.

364

365 La fruta tiene tendencia a ser esférica con un diámetro cerca de 2-3 cm son de color
366 rojo y presentan sabor solo cuando están maduras, usualmente son sometidas a procesos
367 poscosecha antes de su consumo para alargar su vida útil (Alarcao et al. 2001). El sabor
368 de las fresas es resultado de una compleja mezcla de numerosos componentes volátiles y

369 compuestos organolépticos combinados entre sí, dando las características finales al sabor
370 y a la textura de la misma (Maarse et al. 1991).

371 Las cualidades nutricionales de las fresas están correlacionadas con la presencia
372 de azúcares insolubles, ácidos orgánicos, aminoácidos y metabolitos secundarios. Estos
373 componentes juegan un papel importante en las propiedades físicas y químicas de la fruta
374 por lo que ha despertado interés por parte de los investigadores. Los derivados fenólicos
375 son a menudo conjugados con azúcares y se ha reportado que tienen presencia en el fruto
376 y en las hojas (Aaby et al. 2007).

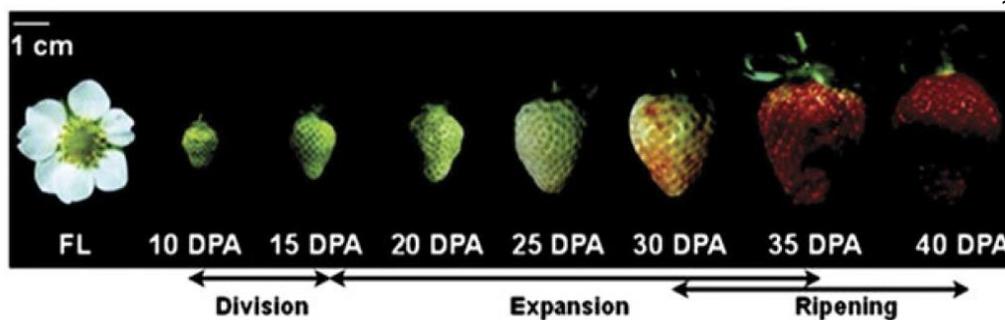
377 Las antocianinas son los principales compuestos producidos por las fresas y
378 originan su color (Santos & Buelga, 2000). La actividad antioxidante en fresa se debe al
379 contenido de componentes fenólicos y antocianinas (Heinonen et al. 1998).

380

381 2.1.1 ESTADO DE MADUREZ

382

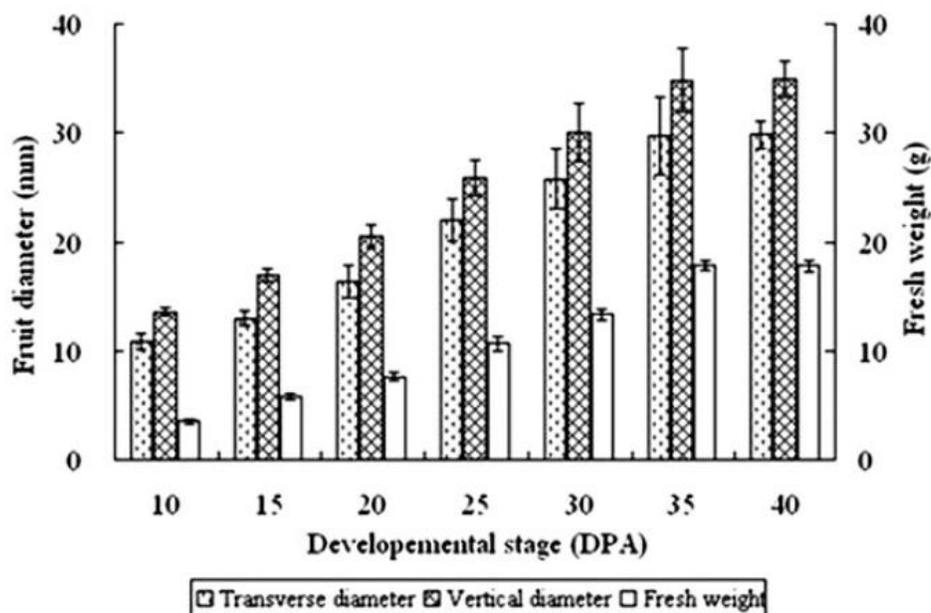
383 Los productores y cosechadores de fresa juegan un papel importante en la
384 determinación de la calidad del fruto y en el deterioro que se presente a través de la
385 comercialización y distribución. La cosecha debe ser tan frecuente como sea necesario para
386 evitar la sobre maduración de la fruta. El color de la fresa debe encontrarse dentro de un
387 rango bastante estrecho al momento de la cosecha como se muestra en la figura 2
388 (normalmente con al menos tres cuartos de color rojo) de manera que todas las frutas
389 respondan de manera similar a las condiciones de manejo (Baraona & Sancho, 1992)



396 Figura 2. Cambios en el estado de maduración de la fresa a partir de su floración (FL) antes
397 de ser considerada fruta de cosecha y sus días correspondientes después de la “antesis”
398 (DPA), clasificando en 3 fases el desarrollo de la fruta caracterizándola por división celular,
399 expansión celular y cosecha de fruta.

400 La cosecha de las fresas debe realizarse entre los 25-30 DPA. Los cambios más
401 notables que presentan a la cosecha en la fruta son las alteraciones del tamaño, talla, forma,
402 textura y pigmentación que coincide con un incremento en el contenido de los sólidos
403 solubles, la producción natural del aroma y los componentes del sabor como se puede
404 observar en la figura 3 (Perkins-Veazie et al. 1995) Los cambios fisicoquímicos que
405 contribuyen a la maduración de la fresa resulta de una combinación de los cambios en las
406 reacciones de actividad enzimática (Medina et al. 1997).

407



408

409 Figura 3. Cambios en la fruta referidos al diámetro trasversal y vertical en relación al peso
410 fresco.

411

412 2.2 FENOLES

413

414 Los compuestos fenólicos, presentes en las plantas, son de gran interés y han recibido
415 cada vez más atención en los últimos años debido a sus funciones bioactivas. Los
416 polifenoles se encuentran entre los fitoquímicos más deseables debido a su actividad
417 antioxidante. Estos componentes son conocidos como metabolitos secundarios de plantas
418 y poseen también actividad antimicrobiana, antiviral y propiedades anti-inflamatorias, junto
419 con su alta capacidad antioxidante (Ignat et al. 2011). Los compuestos fenólicos son
420 sustancias con uno o más anillos aromáticos y al menos, un sustituyente hidroxilo. Existen

421 dos grandes grupos: los ácidos fenólicos (benzoico y cinámicos) y los flavonoides
422 (antocianinas y taninos). Los primeros poseen un solo anillo y los flavonoides dos anillos
423 fenólicos unidos por un anillo heterocíclico (Badui et al. 2012).

424

425 **2.2.1 PRINCIPALES FENOLES EN FRESA**

426

427 El perfil fenólico de las fresas ha sido estudiado por diversos autores e indican que el
428 ácido elágico, ácido p-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido p-hidroxibenzoico y los
429 flavonoides (kaempferol, quercetina y miricetina) son los principales compuestos fenólicos
430 en los frutos de fresas. Los compuestos fenólicos de las fresas desempeñan un papel
431 importante en la capacidad antioxidante, ya que los grupos fenólicos han demostrado tener
432 actividad neuroprotectora (Kelebek et al. 2011).

433

434 **2.3 ANTOCIANINAS**

435

436 En el subgrupo flavonoide es en donde se encuentran las antocianinas y es uno de los
437 grupos con mayor distribución en el mundo vegetal. Las antocianinas son responsables de
438 un amplio abanico de colores de las plantas que incluyen el azul, púrpura, violeta, magenta,
439 rojo y naranja. El vocablo antocianina se deriva de dos palabras griegas: anthos (flor) y
440 kyanos (azul) (Fennema et al. 1993). Las principales antocianinas en fresa son la cianidina
441 3-glucósido, la pelargonidina-3-arabinósido y la cianidina-3-rutinósido (Kelebek et al.
442 2011).

443

444 **2.3.1 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS** 445 **ANTOCIANINAS**

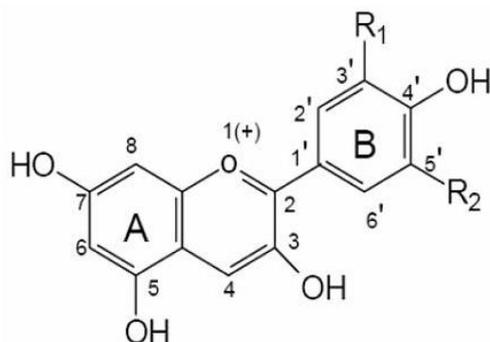
446

447 Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están
448 constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un
449 azúcar por medio de un enlace β -glucosídico. La estructura química básica de estas
450 agliconas es el ión flavilio, también llamado 2-fenil-benzopirilio, que consta de dos grupos
451 aromáticos: un benzopirilio (A) y un anillo fenólico (B); el flavilio normalmente funciona como

452 un catión (figura 4). Las agliconas libres raramente existen en los alimentos, excepto
 453 posiblemente como componentes traza de las reacciones de degradación. (Fennema et al.
 454 1993)

455

456



Aglicona	Substitución		Espectro visible λ_{\max} (nm)
	R1	R2	
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506(naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508(azul-rojo)
Peonidina	OCH3	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH3	OH	508 (azul-rojo)
Malvidina	OCH3	OCH3	510 (azul-rojo)

457

Figura 4. Estructura y sustituyentes de las antocianinas

458

459 De todas las antocianidinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las
 460 más importantes son la pelargonidina, delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y
 461 malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez;
 462 la combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150
 463 antocianinas (Badui et al. 2012).

464

465 El color de las antocianinas depende de varios factores intrínsecos, como son los
 466 sustituyentes químicos que contenga y la posición de los mismos en el grupo flavilio; por
 467 ejemplo, si se aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensifica el color azul, mientras
 468 que la introducción de metoxilos provoca la formación del color rojo. Las antocianinas están
 469 presentes en diferentes órganos de las plantas, tales como frutas, flores, tallos, hojas y
 470 raíces. Estos pigmentos son normalmente encontrados disueltos uniformemente en la
 471 solución vacuolar de células epidérmicas. Sin embargo, en ciertas especies, las
 472 antocianinas son localizadas en regiones discretas de la vacuola celular, llamadas
 473 antocianoplastos. La principal fuente de antocianinas son frutas rojas, principalmente bayas
 474 y uvas rojas, cereales, principalmente maíz morado, vegetales y vino rojo entre las bebidas.
 475 (Fennema et al. 1993)

476

477

478 **2.3.2 FACTORES QUE DETERMINAN LA ESTABILIDAD DE LAS** 479 **ANTOCIANINAS**

480

481 A pesar de que las antocianinas abundan en la naturaleza, no se ha formalizado su uso
482 como colorantes en alimentos, ya que son poco estables y difíciles de purificar para
483 emplearlas como aditivo. Los desechos de la industria vitivinícola y de la de jugos de frutas,
484 son buenas fuentes de estos pigmentos; se pueden obtener por extracciones alcohólicas y
485 se ha sugerido emplearlas en algunos productos deshidratados. (Baublis et al. 1994)

486 Fennema et al. 1993 propone diversos factores que determinan la estabilidad de las
487 antocianinas entre las cuales destacan las siguientes:

488 a) pH: Este parámetro es uno de los principales factores del medio que se hace que la
489 molécula pueda mantener su color. En condiciones acidas se conserva un color
490 intenso de la antocianina, ya que existirá un equilibrio entre las cuatro estructuras
491 de la misma.

492 b) Temperatura: La estabilidad de la antocianina está directamente relacionada con la
493 temperatura. Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones
494 endotérmicas. Resisten bien los procesos térmicos alta temperatura-corto tiempo.
495 Por efecto del calor (a temperaturas por encima de 60 °C) se degradan según una
496 cinética de primer orden.

497 c) Luz: Se ha reconocido que la luz es un factor que acelera la degradación de las
498 antocianinas, se ha observado que la sustitución del hidroxilo en C-5 hace que la
499 antocianina sea más susceptible a la fotodegradación. Sin embargo, la
500 copigmentación puede retrasar esta fotodegradación, cuando esta se presenta con
501 flavonas polihidroxiladas, isoflavonas y auronas sulfonadas.

502 d) Oxígeno: El oxígeno disuelto tiene un efecto negativo en la estabilidad de las
503 antocianinas, sobre todo en las del vino. El efecto positivo en la eliminación del
504 oxígeno es para retener el color de las antocianinas en las bebidas cuando se
505 envasa en una atmósfera controlada.

506 e) Metales: Los complejos con metales con características de cada una de las plantas,
507 con los cuales se determina un espectro de colores único de cada una de ellas.
508 Iones metálicos como aluminio, estaño y hierro puede formar complejos con las
509 antocianinas que contiene grupos hidroxilo en el anillo fenólico. El acomplejamiento
510 puede formar efectos batocrómicos hacia el azul con el hierro y aluminio. Se ha

511 demostrado que el acomplejamiento con metales puede incrementar y estabilizar el
512 color de las antocianinas en los alimentos, pero los mismos también pueden
513 provocar pérdidas del color. Ya que considerando la habilidad de los metales como
514 cobre y hierro de actuar como catalizadores redox generan un resultado neto
515 negativo.

516

517 Como se mencionó en el *capítulo 2.3 Antocianinas* estas son precursoras de la actividad
518 antioxidante en la fresa, por lo que se considera importante establecer las bases teóricas
519 acerca de la actividad antioxidante que se presenta en el capítulo siguiente.

520

521 **2.4 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

522

523 En ciencias de la alimentación, el antioxidante se define como sustancias en alimentos
524 que cuando están presentes en concentraciones bajas frente a las de un sustrato oxidable
525 disminuye significativamente o evita los efectos adversos de las especies reactivas, tales
526 como oxígeno y especies de nitrógeno reactivo (ROS / RNS), sobre la función fisiológica en
527 humanos (Halliwell et al. 1995).

528 La capacidad antioxidante se relaciona con compuestos capaces de proteger un
529 sistema biológico contra el efecto potencialmente dañino de los procesos o reacciones que
530 implican oxígeno reactivo y especies de nitrógeno (ROS y RNS). Los efectos protectores
531 de los antioxidantes han recibido una atención creciente en los campos biológicos, médicos,
532 nutricionales y de agroquímicos y dio lugar a la exigencia de los métodos de determinación
533 de la capacidad antioxidante simple, conveniente y confiable (Huang et al. 2005).

534 Los compuestos que producen en la actividad antioxidante de fresa son los ácidos fenólicos,
535 flavonoides y antocianinas las cuales influyen fuertemente en la calidad de la fruta tanto en
536 sus atributos organolépticos como valor nutricional (Carvajal et al. 2011).

537 En el capítulo 2 se ha mencionado la importancia de los grupos fitoquímicos presentes en
538 la fresa los cuales proporcionan su actividad antioxidante, estos grupos son vulnerables a
539 los tratamientos térmicos por lo que es necesario establecer las condiciones óptimas de
540 secado para tener un mayor porcentaje de retención de compuestos nutraceuticos.

541

542
543

2.5 SECADO

544 El secado de alimentos se usa como técnica de preservación ya que disminuye la
545 actividad microbiana y alarga la vida útil del alimento. Además, muchas de las enzimas que
546 causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden
547 funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua
548 se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir
549 este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su
550 sabor y valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante
551 largos (Geankoplis et al. 1998), Lo que reducen su peso y volumen considerablemente lo
552 que disminuye los costos de transporte y almacenamiento (Doymaz et al. 2008).

553

2.5.1 PROCESO BÁSICO DE SECADO

554
555

556 Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación,
557 secado y deshidratación, que pueden considerarse sinónimos, aunque algunos autores
558 establecen diferencias, únicamente cuantitativas, entre ellos:

- 559 a) Desecación: es la eliminación de agua hasta una humedad final que este en
560 equilibrio con la del aire de secado. Esta humedad final oscila entre 0.12 y 0.14 kg
561 de agua por kg de producto húmedo. El valor de a_w alcanzado debe ser
562 suficientemente bajo para inhibir el crecimiento microbiano, así como para limitar las
563 reacciones enzimáticas.
- 564 b) Deshidratación: es la eliminación del agua de un producto hasta un nivel próximo al
565 0% de humedad.

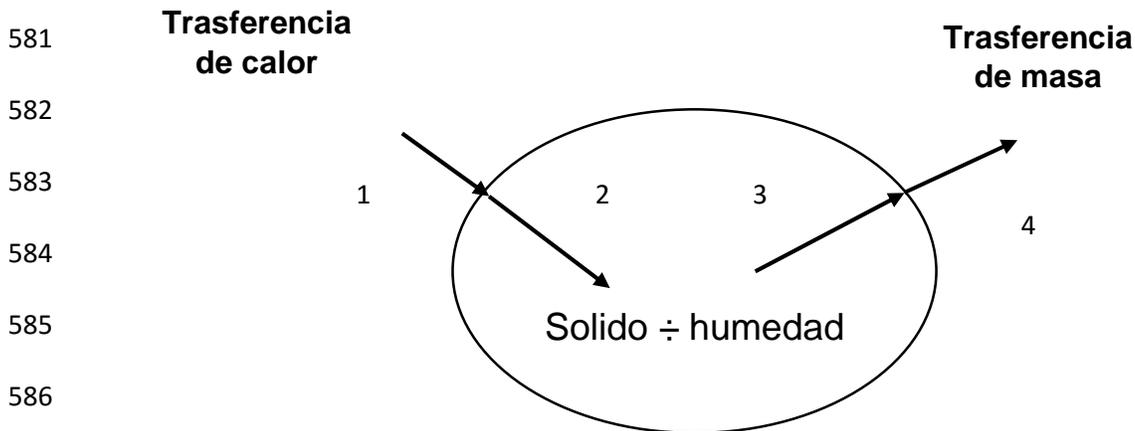
566 En general el mecanismo de eliminación de agua puede ser por la difusión del líquido o la
567 del vapor a través de las diferentes regiones del alimento. Cuando el agua se mueve a través
568 del alimento sucede la evaporación, por lo que es calor por lo cual al secado se le conoce
569 como un proceso simultaneo de transferencia de masa y calor. La transmisión de calor tiene
570 lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente
571 entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento
572 (Casp & Abril, 2003).

573

574 Cuando se le suministra energía al agua para su evaporación, el vapor que se produce se
575 transporta a través del alimento para llegar a la corriente de aire. Esto genera una región de
576 baja presión de vapor en la superficie del alimento ocasionando un gradiente de presión del
577 vapor de agua entre el contenido de humedad del interior del alimento y el aire seco. Lo
578 que provoca la difusión para remover el agua del alimento.

579 Por lo tanto, durante el secado se produce cuatro procesos de transporte figura 5.

580



587

Figura 5. Proceso básico de secado

588 1. Trasmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto. Puede realizarse
589 por conducción, convección o radiación.

590 2. Trasmisión de calor desde la interface solido-gas hasta el interior del sólido. Solo
591 puede tener lugar por condición, en régimen no estacionario (las condiciones en
592 cualquier punto varían con el tiempo).

593 3. Trasmisión de materia a través del sólido. Se puede reproducir por difusión o por
594 capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el
595 secado de productos con una humedad del 25% (base húmeda) o inferiores,
596 mientras que la capilaridad se presenta para un valor alto de humedad (65% o más)
597 y cuando en la estructura interna del producto existen capilares

598 4. Trasferencia de vapor desde la interface solido-gas hacia el seno del gas.

599 Los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la transferencia de energía,
600 procesos basados en la convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta
601 el alimento.

602 Generalmente se usa la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire.
603 Por lo que en este caso la transferencia de calor dependerá de la temperatura del aire,
604 humedad, presión y de la superficie expuesta del alimento. Es necesario tener en cuenta
605 los cuatro procesos de transporte citados, puesto que velocidad de secado será proporcional
606 al más lento de ellos. En la mayoría de los casos los procesos limitantes será los de
607 transporte de materia y calor en el interior del alimento (Casp & Abril, 2003).

608

609 **2.5.2 MECANISMOS DE SECADO**

610

611 EL secado ocurre por efecto de la vaporización del líquido mediante el suministro de
612 calor al material húmedo, esta alimentación de calor se puede dar por un proceso de
613 convección (secadores directos) o conducción (secadores indirectos) (Jangam et al. 2010).

614 Cuando el aire caliente se hace pasar sobre el alimento, el calor es transferido a la
615 superficie, y el calor latente de vaporización causa la evaporación del agua. El vapor de
616 agua se difunde a través de la película para posteriormente llegar a la corriente del aire.
617 Esto genera una región de baja presión de vapor en la superficie del alimento y gradiente
618 de presión de vapor de agua entre el contenido de humedad del interior del alimento y el
619 aire seco. Este gradiente provoca una fuerza impulsora para remover el agua del alimento
620 (Rahman et al. 1999).

621 El agua es removida de la superficie por el siguiente mecanismo:

622 a) Movimiento del líquido por fuerzas capilares

623 b) Difusión del líquido, causado por diferencias en la concentración de solutos de las
624 diferentes regiones del alimento.

625 c) Difusión del líquido a la corriente de aire, el cual es absorbido en el límite de la superficie
626 de los componentes sólidos del alimento.

627 d) La difusión del vapor de agua en los espacios vacíos dentro del alimento causando por
628 la existencia de un gradiente de presión de vapor.

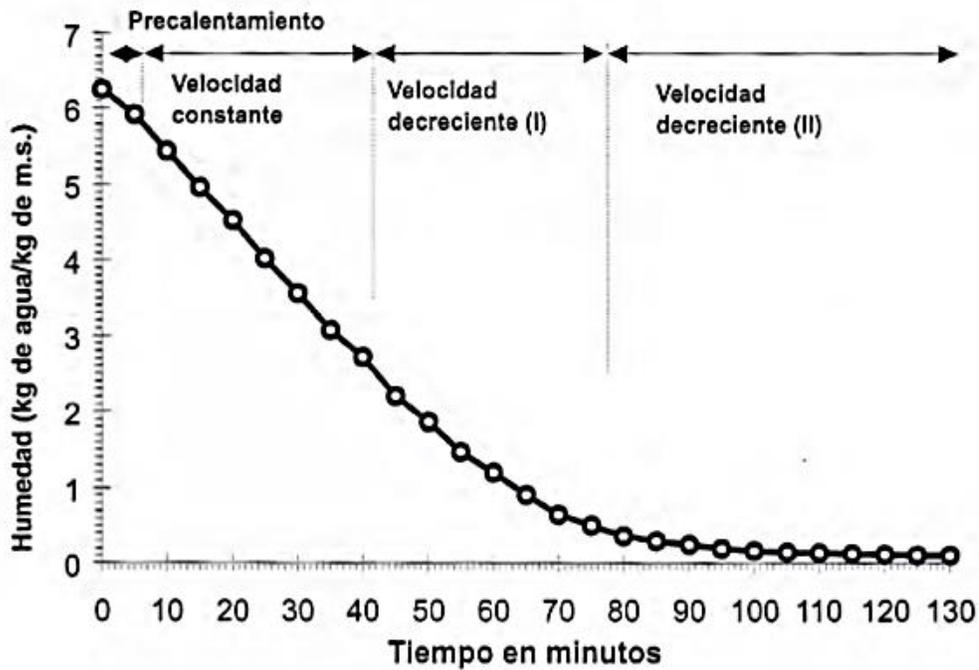
629

630

631
632

2.5.2.1 PERIODOS DE SECADO

633 El proceso de secado esta normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de
634 precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de
635 velocidad de secado decreciente. En la figura 6 se muestra la curva de secado obtenida
636 cuando se presenta el contenido de humedad contra el tiempo de secado.



637

638

Figura 6. Periodos del secado.

639 :

640 En la primera etapa de secado se le conoce como periodo de precalentamiento, que
641 transcurre mientras el producto y el agua contenida se calienta ligeramente, hasta alcanzar
642 la temperatura del bulbo húmedo característica del ambiente.

643 El producto a secar al principio esta frio, su presión de vapor es igualmente baja, por lo
644 tanto, la velocidad de transferencia de masa es muy lenta, por el contrario, el gradiente de
645 temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevada en
646 consecuencia la transferencia de calor es alta. La cantidad de calor trasferida a la superficie
647 del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrada por la poca agua
648 evaporada, existe un desequilibrio. El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la

649 superficie del producto, por lo cual produce una disminución del gradiente de temperatura,
650 que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este periodo es muy corto en
651 comparación en comparación con el tiempo total de secado (Casp & Abril, 2003).

652

653 **2.5.2.2 PERIODOS DE VELOCIDAD CONSTANTE**

654

655 Durante el periodo de velocidad constante, los fenómenos de transporte que tienen lugar
656 son la transferencia de materia de vapor de agua hacia el medio ambiente, desde la
657 superficie del producto a través de una película de aire que rodea el material, y la
658 transferencia de calor a través del sólido. Mientras dura el proceso de secado la superficie
659 del material permanece saturada de agua, ya que la velocidad del movimiento del agua
660 desde el interior del sólido es suficiente para compensar el agua evaporada desde la
661 superficie. (Barbosa et al. 2005)

662

663 **2.5.2.3 PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE**

664

665 Conforme avanza la deshidratación se alcanza un punto en el que la velocidad de
666 movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en
667 grado tal, que la superficie del producto comienza a resecarse. Como lo que se elimina en
668 esta capa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad
669 depende del mecanismo de movimiento de la humedad dentro del sólido (capilaridad o
670 difusión). En la etapa de velocidad decreciente, la velocidad de transferencia de calor es
671 mayor que la de la masa, por lo que la temperatura en la superficie del producto se
672 incrementa paulatinamente hasta acercarse a la temperatura de bulbo seco del aire de
673 secado (Colina et al. 2010)

674 En el *capítulo 2.5 Secado* se explica los fundamentos teóricos del secado convectivo en
675 general, en el *capítulo 2.6 Fluidización* se hablará acerca del principio de operación del
676 secador de lecho fluidizado.

677

678

2.6 FLUIDIZACIÓN

679
680

681 La fluidización se refiere al proceso de la suspensión o levitación de partículas por la
682 acción del paso de un fluido a través de ellas, de manera que el conjunto de partículas
683 también tiende a comportarse como fluido (Kunii & Levenspiel, 1991).

684 La principal ventaja de estos sistemas para alimentos consiste en el rápido intercambio
685 de calor y masa, ya que el aire y el producto se encuentran en íntimo contacto, debido al
686 constante movimiento de las partículas de alimento, que se reflejan en una rápida y
687 homogénea deshidratación y evita el sobre calentamiento de los productos. Los tiempos de
688 deshidratación en estos sistemas son sumamente cortos, razón por la cual se les considera
689 deshidratadores de partículas. Para que la fluidización se realice de manera efectiva se
690 requiere que el alimento húmedo cumpla con las siguientes condiciones:

- 691 a) Tener un tamaño preciso y homogéneo. Por lo general se considera que las
692 partículas no deben ser mayores de 10 mm, ni menores a 10 μm , con una
693 estrecha distribución de tamaño de partículas.
- 694 b) Poseer una densidad suficientemente baja.
- 695 c) Tener forma esférica o lo más cercano posible a ella.
- 696 d) No formar grumos o volverse pegajoso durante la deshidratación.
- 697 e) Soportar la agitación y el choque con las demás partículas sin sufrir daño
698 mecánico o degradación

699 La deshidratación por lecho fluidizado es, por tanto, adecuada para productos como
700 chicharos, hortalizas cortadas en cubos o rodajas y granos de elote, granos de cereales,
701 así como granulados de almidón (Colina et al. 2010).

702

2.6.1 VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN

703
704

705 La velocidad a la que empieza la fluidización del lecho se conoce como velocidad
706 mínima de fluidización. En este punto existe un equilibrio dinámico entre la fuerza que el
707 campo gravitatorio y el fluido ejercen sobre las partículas. La fuerza gravitatoria ejercida
708 sobre las partículas viene dada por la expresión:

709

710

$$F_G = (\rho_P - \rho)SL(1 - \varepsilon)g \quad (1)$$

711 En la que ρ_p y ρ son las densidades de las partículas del fluido, respectivamente; S la
712 sección de paso de la columna que contiene a las partículas; L la altura del lecho; ϵ
713 porosidad del lecho y g la constante de gravedad (Kunii & Levenspiel, 1991).

714

715 2.6.2 TIPOS DE FLUIDIZACIÓN

716

717 La velocidad para la cual ocurre la fluidización se conoce como mínima de fluidización;
718 mientras que la correspondiente al punto de arrastre es la velocidad de arrastre.

719 En el tramo en que el lecho este fluidizado la velocidad del fluido de contacto con las
720 partículas es superior cuando las ha superado, por lo que las partículas no quedan
721 arrastradas si no que vuelven a caer al lecho. El conjunto de partículas posee un movimiento
722 desordenado presentando un aspecto como si las partículas estuvieran en ebullición,
723 denominándose lechos hirvientes o fluidización discontinua a este tipo de procesos cuando
724 las partículas son arrastradas, el tipo de fluidización se denomina discontinua y es un tipo
725 de fluidización de dos fases que es la base del transporte neumático (Barbosa et al. 2005).

726

727 2.6.3 CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS SEGÚN GELDART

728

729 Para la fluidización de solidos de diversos tamaños y características diferentes se
730 propusieron cuatro clasificaciones, donde se reconoce que el comportamiento de la
731 fluidización es dependiente del tamaño y del tipo de partículas, las cuales sirven para
732 conocer su posible comportamiento en el lecho, cuyas propiedades son diferentes al ser
733 fluidizadas con gas. En la figura 7, se propone la clasificación para partículas pequeñas y
734 grandes.

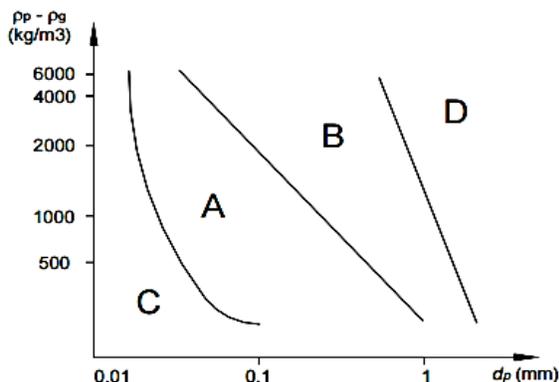


Figura 7 Clasificación de Geldart para partículas según su comportamiento al ser fluidizadas con aire a la temperatura ambiente (Geldart et al. 1973)

- 743 1. Grupo A: Estas partículas también son llamadas aireables, son aquellas partículas
744 que poseen un diámetro medio de 20 a 100 μm y bajas densidades de partículas ($<$
745 1.4 g/cm^3). Los sólidos fluidizan fácilmente y de manera suave a bajas velocidades
746 del gas, mientras que con altas velocidades presentan un comportamiento de
747 burbujeo con un tamaño pequeño y uniforme de burbuja.
- 748 2. Grupo B: Son partículas semejantes a la arena y el vidrio, con tamaños entre 40
749 $\mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$ y una densidad de $1.4 < \rho_p < 4 \text{ g}/\text{cm}^3$. Estos sólidos fluidizan
750 presentando un burbujeo vigoroso y con burbujas grandes.
- 751 3. Grupo C: En este grupo se encuentran las partículas muy ligeras y cohesivas como
752 son los polvos finos, con diámetros \leq de 20 μm . Por la gran superficie que presentan
753 y su baja densidad, se forman fuerzas de atracción entre ellas y se tornan muy
754 cohesivas. Con estas partículas se tiene la formación de canales al paso del aire,
755 provocando que su fluidización sea muy difícil y el mezclado de las partículas muy
756 lento. Los sólidos característicos a este grupo son las harinas, talcos y almidón.
- 757 4. Grupo D: Está compuesta por partículas grandes o mayores a 1 mm de diámetro.
758 Los lechos profundos de estos sólidos, son difíciles de fluidizar, presentan un
759 comportamiento inestable con formación de burbujas grandes y canalizaciones
760 debido a las explosiones originadas por las mismas; sin embargo, para lechos bajos
761 fluidizan bien. A este tipo de partículas pertenecen los cereales, chicharon, grano
762 de café, así como vegetales previamente cortados a un tamaño de partícula que
763 permita su fluidización (Carrillo et al. 2008).

764

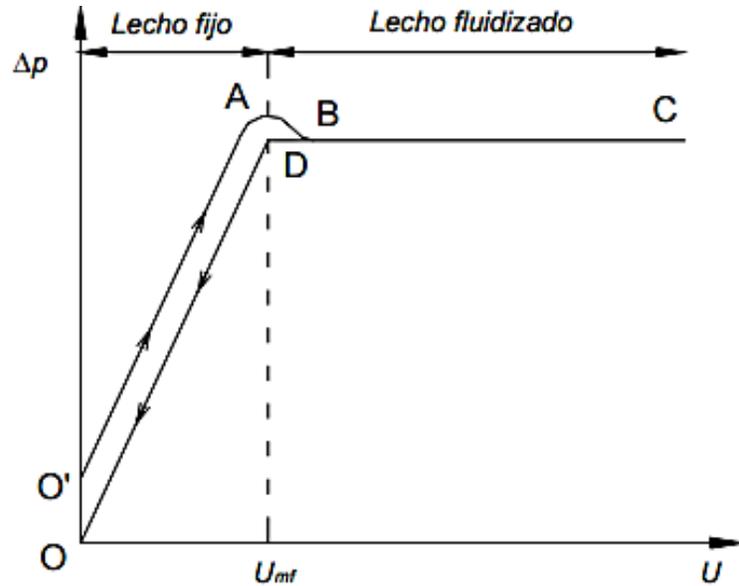
765

2.7 LECHO FLUIDIZADO

766

767 Cuando un flujo circula a través de un lecho de partículas, si su velocidad de circulación
768 es baja el lecho permanece estático, pero si su velocidad aumenta puede ocurrir que el
769 lecho se expanda existiendo una reordenación de las partículas, con el siguiente aumento
770 de la porosidad del lecho. Si se supone un lecho de partículas a través de las cuales circula
771 un fluido al que se le va aumentando paulatinamente la velocidad de circulación, A
772 velocidades bajas el lecho permanece estático, sin aumento de su altura por lo que al
773 representar en coordenadas doble logarítmicas la caída de presión en frente de la
774 circulación se obtiene una recta, figura 8.

775
776
777
778
779
780
781
782
783



784 Figura 8. Evolución de la pérdida de carga en el lecho Δp con respecto de la
785 velocidad superficial del gas U . (Barbosa et al. 2005)

786
787
788
789
790
791
792
793
794
795

Si se aumenta más la velocidad las partículas empiezan a separarse, pero todavía permanecen en contacto, aunque la relación de caída de presión y la velocidad continúa siendo lineal, pero la pendiente es menor (Segmento AB). En el punto B, en que las partículas no se hayan en contacto se dice que el lecho es fluidizado. A partir de ese punto si se aumenta la velocidad puede haber una pequeña caída de presión (segmento BC), pero si se sigue aumentando la velocidad la caída de presión aumenta linealmente con la velocidad, pero con una pendiente menor, hasta que la velocidad es la suficientemente elevada como para arrastrar las partículas cosa que ocurre a partir del punto B. (Barbosa et al. 2005)

796
797

2.8 LECHO VIBROFLUIDIZADO

798
799
800
801

La vibrofluidización es una técnica que combina la acción mecánica debido a la vibración del lecho con el contacto de una corriente de aire. Este tipo de secadores son sistemas que pueden ser menos demandantes de energía comparados con los lechos fluidizados convencionales (Vizcarra et al. 2001)

802
803

La aplicación de las vibraciones para el transporte de materiales se ha utilizado desde hace varias décadas. Este sistema de transporte de materiales puede ser completado con la

804 transferencia de masa, calor, enfriamiento, secado, granulación o tratamiento químico.
805 Además de esto la energía suministrada en forma de vibraciones periódicas o pulsos puede
806 mejorar la eficiencia térmica y energía de operación (Szalay et al. 1995)

807 El secado en lecho vibrofluidizado puede ser un proceso continuo o por lotes, el cual
808 combina las tecnologías de transporte vibracional y de secado en lecho fluidizado. El material
809 a tratar se mantiene en un estado fluidizado como resultado de la acción combinada de flujo
810 de aire y de las vibraciones. La única función de las vibraciones es distribuir a los sólidos
811 en la sección de alimentación y mantenerlos en movimiento de tal forma que se tenga una
812 mejor área de contacto entre el flujo de gas y los sólidos. De la misma forma que la
813 fluidización, en la vibrofluidización se puede medir la velocidad mínima de vibrofluidización
814 (U_{mv}) en función de la velocidad del gas. Esta variedad de curvas aparece dependiendo de
815 la amplitud y de la frecuencia angular de las vibraciones, de la altura del lecho y de la
816 densidad del lecho. En la figura 9 Se muestran estas curvas que son similares a las
817 exhibidas para los lechos fluidizados normales. Las curvas de tipo A se obtienen con alturas
818 de lechos grandes ($H > 5$ cm) y amplitudes pequeñas ($A < 0.03$ cm). Estas condiciones
819 desfavorecen el efecto de las vibraciones por lo que las gráficas son casi idénticas a las de
820 lecho fluidizado (Gupta & Mujumdar, 1980).

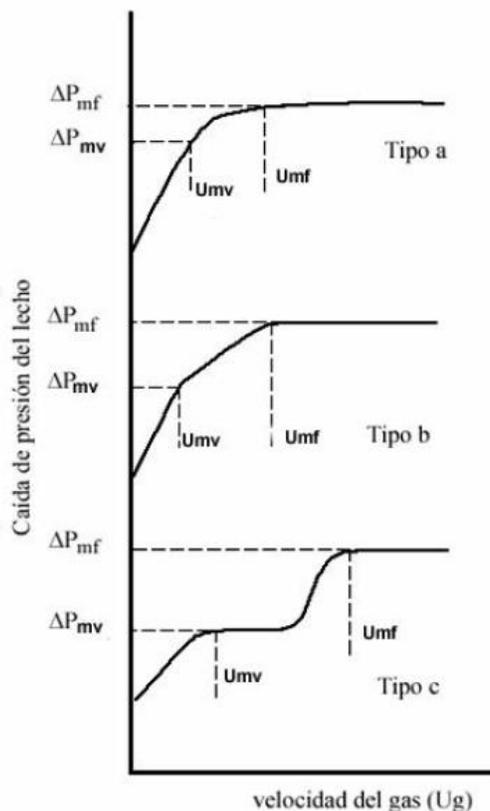


Figura 9. Se muestran estas curvas que son similares a las exhibidas para los lechos fluidizados normales (Gupta & Mujumdar, 1980).

833

834 Las curvas tipo b se generan cuando se operan intervalos intermedios de amplitudes y
835 alturas de lecho, por lo que existe una transición entre lecho fijo y lecho fluidizado. Las
836 curvas tipo C se obtienen cuando las vibraciones dominan la dinámica del lecho y esto
837 ocurre cuando se trabaja con amplitudes grandes y altura de lecho pequeñas ($H < 5$ cm)
838 (Gupta & Mujumdar, 1980).

839

840 **2.9 APLICACIONES**

841

842 Hay un número de ventajas de secador de lecho vibrofluidizado sobre los secadores
843 de lechos fluidizados las cuales son la reducción de la velocidad mínima de fluidización
844 (debido a la utilización de vibración que reduce el flujo de gas y la caída de presión del
845 lecho), la intensificación de la transferencia de calor y masa (debido al control individual del
846 flujo del aire y la vibración), mejor uniformidad y eficiencia de los materiales de secado.
847 (Gupta y Mujumdar, 1980).

848

849 Otra de las ventajas del secador de lecho vibrofluidizado es que la acción del vibrador
850 tiende a eliminar cualquier segregación (estratificación) causada por el flujo de aire a través
851 del lecho. El nivel de vibración, determina los regímenes de operación para cada material
852 a secar (Pakowski et al. 1984).

853 La amplitud de la vibración, junto con las velocidades del aire de secado hace que sea
854 posible ajustar los parámetros a las propiedades físicas del material a secar (Danielsen &
855 Hovmand, 1980), por ejemplo sólidos con mucha agua necesitan velocidades de aire más
856 altas que sólidos secos para que sean capaces de fluidizar por lo cual a una misma
857 frecuencia y amplitud, modificando solamente la velocidad de aire se puede alcanzar las
858 condiciones óptimas de secado, o manipulando otra variable para llegar a este fin (Brod et
859 al. 1998).

860

861

862

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 MATERIAL

Las fresas fueron de la variedad de *Fragaria Vesca*, obtenidas de la central de abastos de Oaxaca de Juárez. Al ser obtenidas a granel las fresas corresponden a la tercera posición en cuanto a calidad según la norma NMX-FF-062-1987. Y presentaban un tamaño aproximado de 5.13 ± 0.36 cm.

3.1.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL

La selección del material fue en base a la norma NMX-FF-062-1987 por lo que las características que deben tener son las siguientes: Frescas, limpias, sanas, enteras, bien desarrolladas además de tener una consistencia firme, estar exentas de humedad exterior anormal, estar libres de descomposición o pudrición.

3.1.2 PRETRATAMIENTO

La fresa se lava para eliminar el polvo y la suciedad, desprendiéndose las hojas de la corona de la fresa, se preparan fresas para cubicar manualmente con una medida aproximada de 1 cm de lado. Se llevan a un escaldado con una solución acuosa de CaCl_2 al 1%, durante 1 min a 80°C y se lavan a corriente con agua fría, figura 10 (Carrillo et al. 2008).



Figura 10 Proceso de cubicado y escaldado de la materia prima.

888

3.2 SECADO

889

890

891

3.2.1 EQUIPOS

892

893 El secado de materiales de cubos de fresa se llevará a cabo en el secador de lecho
894 fluidizado, vibrofluidizado y túnel. A continuación, se muestra la descripción técnica de los
895 equipos empleados.

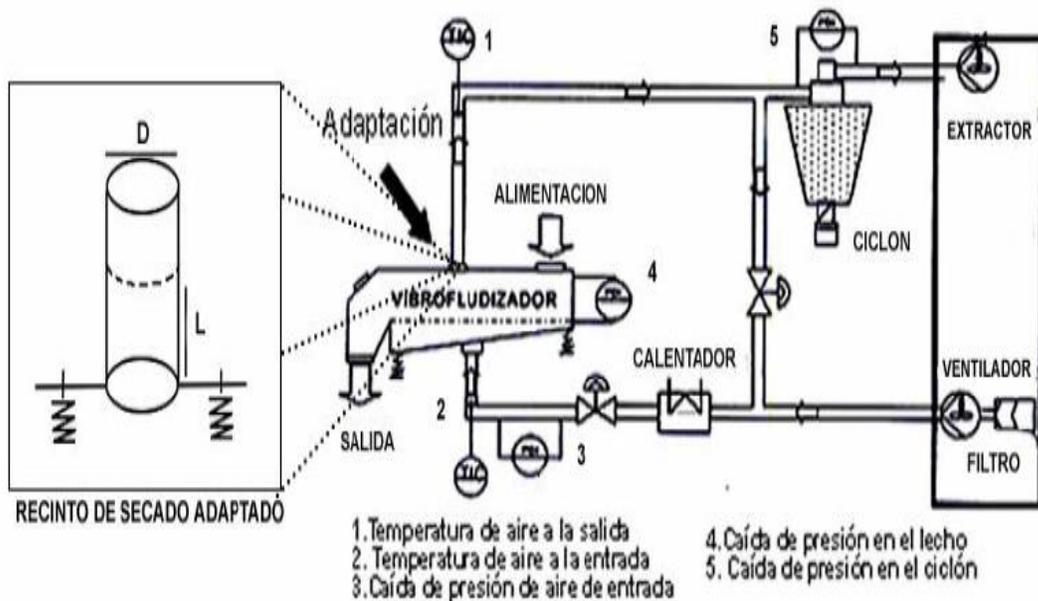
896

3.2.1.1 SECADOR DE LECHO VIBROFLUIDIZADO

897

898 El secador de lecho vibrofluidizado que se utiliza es de la marca NIRO, que se encuentra
899 en la planta piloto del departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma
900 Metropolitana unidad Iztapalapa, figura 11.

901



910

Figura 11. Secador de lecho vibrofluidizado a nivel planta piloto de la UAM unidad Iztapalapa con un recinto de secado adaptado (Pérez et al. 2000).

911

912

913 Al equipo se le hizo una adaptación dejando libre solamente la parte central de distribuidor
914 de aire donde se montó un cilindro de acrílico de 0.45 m de altura y un diámetro de 0.15 m.
915 El equipo cuenta con un motor CD centrífugo de 1hp, con dos contrapesos concéntricos en
916 el eje rotor que puede colocarse en cinco posiciones distintas para obtener diferentes

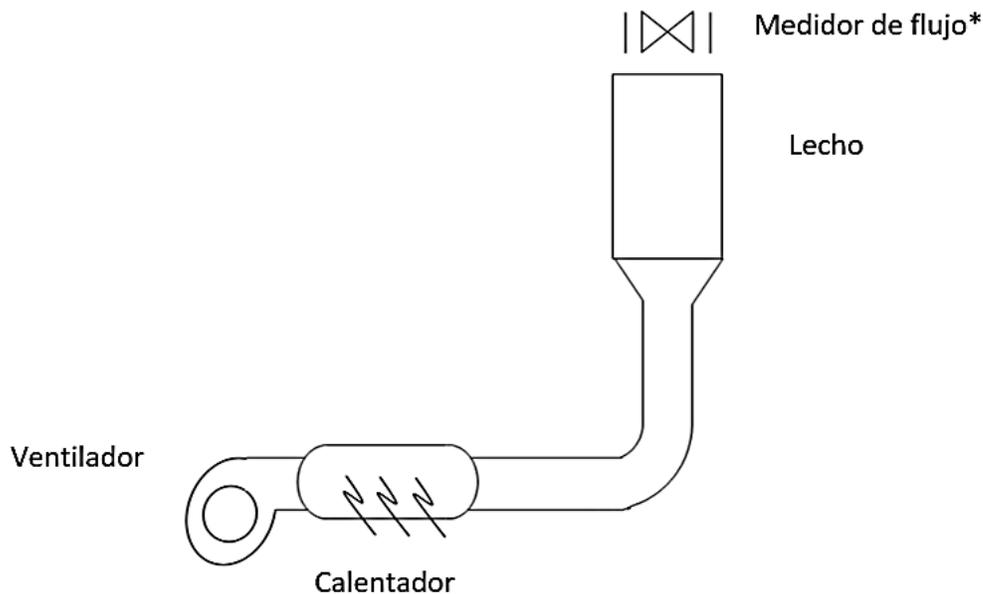
917 intensidades vibraciones en el lecho. A los costados se localizan resortes para amortiguar
918 las vibraciones. La alimentación de aire caliente al secador es por la parte central inferior
919 del lecho. El flujo de aire está ligado a un turboventilador, con válvula de mariposa para
920 regular el flujo de aire y trabaja con presión positiva para alimentar al equipo. El
921 calentamiento de aire es mediante un sistema de 6 resistencias eléctricas de 6, 12 y 18 kW,
922 la máxima temperatura que se alcanza es de 300 °C (Moreal et al. 2005).

923

924 3.2.1.2 SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO

925

926 El secador de lecho fluidizado se muestra en la figura 12, el cual se encuentra en el
927 laboratorio del CIIDIR-IPN unidad Oaxaca. Consiste de un ventilador el cual alimenta el
928 flujo, calentado con una resistencia de 220 V y conecta con una reducción la que está sujeta
929 a un tubo de PVC (lecho).



930

931

Figura 12. Secador de lecho fluidizado.

932

933 En la parte inferior del lecho que conecta al reductor está separada por medio de una malla
934 de 80. En esta parte del equipo es donde se coloca la muestra para su secado, donde se
935 hace pasar libremente el flujo de aire. La velocidad de flujo de aire se regula por medio de

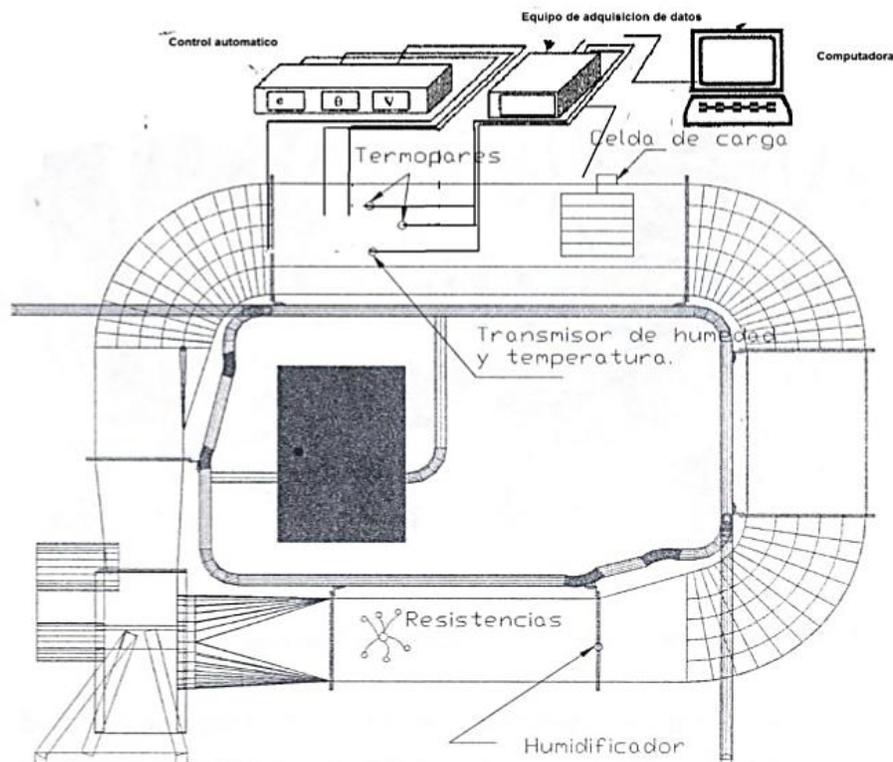
936 un controlador manual, y es medido con un termo-anemómetro Ht400 el cual se coloca en
937 la parte superior del lecho cuando el equipo está en frío. Y la temperatura es medida por
938 medio de un termómetro digital de marca Hanna instruments.

939

940 3.2.1.3 SECADOR DE TÚNEL

941

942 El secador de túnel se encuentra localizado en el laboratorio del CIIDIR-IPN unidad Oaxaca
943 figura 13. En el cual el aire de secado se calienta empleando dos resistencias eléctricas de
944 2.4 kW conectadas en paralelo que se encuentra en la parte inferior del túnel. El flujo de
945 aire producido en el ducto para cada frecuencia del motor se mide con dos anemómetros,
946 con la finalidad de obtener una velocidad del aire adecuada para el secado (Pérez & Gil,
947 2002).



948

949 Figura 13. Secador de túnel, (Hernández et al. 2011)

950 El peso de la muestra, durante el proceso, es registro por el sistema de adquisición de datos
951 conectado a una celda de carga de marca interface modelo SM-25 que mide la tensión que

952 se produce por el peso de la muestra. El túnel cuenta con un controlador automático
953 programable, National Instruments de la serie FP-1000, que realizo el control de proceso y
954 la adquisición de datos en tiempo real. El controlador está conectado a un programa de
955 computadora que registra las cantidades por medio del software LabVIEW®. Estos datos
956 fueron concentrados en una hoja de texto Word 2003, en la que se registró la temperatura
957 del proceso, la temperatura interior y exterior del material, la humedad relativa y el flujo de
958 aire, además de la fecha en la que se realizó la operación (Pérez & Gil, 2002).

959

960 **3.2.2 MÉTODO**

961

962 Las condiciones de secado para el lecho fluidizado, vibrofluidizado y túnel se describe a
963 continuación.

964

965 **3.2.2.1 SECADO DE LECHO FLUIDIZADO Y VIBROFLUIDIZADO**

966

967 Se realizaron pruebas preliminares con el secador de lecho vibrofluidizado para determinar
968 en qué condiciones era fluidizable la fresa. Las temperaturas de operación fueron de 50°C
969 y 60°C, con una velocidad de aire de 9.45 m/s² y un L/D de 1.

970 Para el lecho fluidizado el rango de las temperaturas en las que se trabajó el secador de
971 lecho fluidizado fueron de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C con una velocidad de aire de 9.45 m/s²
972 y un L/D de 1. Las corridas de secado fueron por triplicado.

973

974 **3.2.2.2 SECADO DE TÚNEL**

975

976 La temperatura de operación para el secador de túnel fue de 50°C, 60°C, 70°C y 80°C, la
977 velocidad de aire fue de 1.5 m/s². Las muestras se colocaron en capa fina en una malla de
978 30 cm x 30 cm. Las corridas de secado se realizaron por triplicado utilizándose dos cargas
979 para monitorear al peso de secado.

980

3.3 PROPIEDADES FÍSICAS

981
982

983 Para las mediciones de las propiedades físicas las recolecciones de muestras se hicieron
984 por triplicado y de la manera siguiente: para el lecho fluidizado fueron cada 10 min, mientras
985 que para el túnel fue cada 30 min y para el vibrofluidizado fue al inicio y final del secado.

986

3.3.1 HUMEDAD

987
988

989 Se pesaron 2 gr de muestra y se colocaron en capsulas de porcelana a peso constante (las
990 mediciones se hicieron por triplicado), las cuales se llevaron a una estufa permaneciendo
991 por 24 horas a una temperatura aproximada de $100 \pm 2^\circ \text{C}$. Se retiraron de la estufa y se
992 dejan enfriar en un desecador después se aplica la ecuación 2 que se maneja en la norma
993 NMX-F-083-1986.

$$997 \quad \text{Porcentaje de humedad} = \left(\frac{(P - P_1)}{P_2} \right) \times 100 \quad (2)$$

994 Dónde P es el peso constante del recipiente, en gramos; P_1 es el peso del
995 recipiente con la muestra seca en gramos y P_2 es el peso de la muestra húmeda
996 en gramos.

998

3.3.2 COLOR

999
1000

1001 El color de la fresa seca como fresca se determinará usando un colorímetro MiniScan EZ
1002 (HunterLab) con iluminante D65 y un ángulo de observación de 10° . Los resultados fueron
1003 expresados en coordenadas CIE $L^*a^*b^*$. Las mediciones se realizaron por triplicado. El
1004 ángulo de tono (h_{ab}), croma (C^*_{ab}), ΔE^* (color total) y se calcularon usando las ecuaciones
1005 3, 4 y 5 respectivamente, figura 14.

1006

$$1007 \quad C^*_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

$$1008 \quad h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

$$1009 \quad \Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022



Figura 14. Aplicación del colorímetro para la determinación del color en muestras de fresa seca.

1023

3.4 PROPIEDADES NUTRACEUTICAS

1024

1025

La recolección de muestra se hizo por triplicado, de la manera siguiente: para el lecho fluidizado fueron cada 10 min, mientras que para el túnel fue cada 30 min y para el vibrofluidizado fue al inicio y final del secado. La cuantificación de propiedades nutraceuticas se realizó por triplicado y los análisis se hicieron en la oscuridad, siguiendo la metodología de Rodríguez et al. 2013.

1030

1031

3.4.1 FENOLES

1032

1033

Según cita Ignat et al. 2011. La naturaleza química exacta del reactivo de Folin-Ciocalteu no se conoce, pero se acepta que contiene complejos de ácido fosfomolibdico/fosfotúngstico. La química detrás del ensayo de FCR cuenta con la transferencia de electrones en medio alcalino a partir de compuestos fenólicos y otras especies reductoras de molibdeno, la formación de complejos azules que se pueden supervisar espectrofotométricamente a 750 a 765 nm (Magalhaes et al. 2008).

1039

Se utilizará el método modificado por Singleton y Rossi, 1995. Como estándar se usará ácido gálico, los resultados son expresados en ácido gálico/100 g de muestra seca. La lectura se hizo a 700 nm.

1042

3.4.1.1 PREPARACIÓN DE EXTRACTOS FENOLICOS

1043

1044

1045 La muestra (fresca y seca) se muele y se pesan 2gr. Cada muestra se deposita en tubos
1046 de centrifuga cubiertos con papel aluminio y se le agregan 5 ml de una solución acuosa
1047 de metanol al 80%, figura 15.

1048



1049

1050 Figura 15. Proceso de molienda para la extracción de compuestos nutraceuticos.

1051

1052 Posteriormente se colocan las muestras en un baño ultrasónico por 30 min y se somete a
1053 un proceso de centrifugado a 80 rpm por 10 min. El sobrenadante se coloca en un frasco
1054 ámbar y al precipitado se le vuelve a someter, al mismo procedimiento hasta que la muestra
1055 pierde el color, figura 16.

1056



1062

1063 Figura 16. Proceso para la extracción de compuestos nutraceuticos.

1064

3.4.1.2 CURVA DE CALIBRACIÓN

1065

1066

1067 Para la preparación de la curva estándar se necesitan 100 ml de una solución acuosa de
1068 ácido gálico al 0.036%, una solución acuosa de folin-ciocalteu al 50% y una solución de
1069 Na_2CO_3 al 7%. Previamente se debe de tener la preparación de tubos de ensaye cubiertos

1070 de papel aluminio para realizar las diluciones propuestas en la tabla 2 para llegar a las
1071 concentraciones de los puntos que formaran la curva estándar la cual ira de 36 -0 mg/100
1072 ml.

1073

1074 Tabla 2. Concentraciones para la curva de calibración del método de Folin-Ciocalteu

CONCENTRACIÓN mg/100ml	ÁC. GÁLICO (ml)	AGUA DESTILADA (ml)
36.0	2.00	0.00
30.0	1.66	0.33
24.0	1.33	0.66
18.0	1.00	1.00
12.0	0.66	1.33
6.0	0.33	1.66
0.0	0.00	2.00

1075

1076

1077 **3.4.1.3 CUANTIFICACIÓN EN MUESTRAS**

1078

1079 Cuando las concentraciones de los diferentes puntos de la curva estándar estén preparadas
1080 se toma una alícuota de 0.2 ml y se le agregan 2.6 ml de agua destilada, 2 ml de Na₂CO₃
1081 al 7% y 0.2 ml de folin-ciocalteu al 50%. Para el caso de las muestras se sigue el mismo
1082 procedimiento, al final se agita y deja reposar las muestras por 60 min, finalmente se
1083 procede a la lectura, anexo 1.

1084

1085 **3.4.2 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

1086

1087 El radical DPPH es un nitrógeno orgánico de larga vida y tiene un color púrpura intenso. La
1088 capacidad reductora de antioxidantes hacia DPPH puede ser evaluada por resonancia de
1089 espín electrónico o por el seguimiento de la disminución de la absorbancia a 517 nm hasta
1090 que la absorbancia se mantiene estable en medios orgánicos. Este método ampliamente
1091 utilizado fue reportado primero por Brand-Williams et al.1995.

1092

1093
1094
1095

3.4.2.1 PREPARACIÓN DE EXTRACTOS PARA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

1096 La metodología para la elaboración de los extractos de actividad antioxidante es
1097 exactamente igual a los pasos seguidos para la de extracción de fenoles que se explica en
1098 el subcapítulo 4.4.1.1 *Preparación de extractos fenólicos*.

1099

1100
1101

3.4.2.2 CURVA DE CALIBRACIÓN

1102 Para la curva estándar es necesario el uso de una solución acuosa de metanol al 80%, para
1103 la preparación de las soluciones de ácido ascórbico del 0.025 % y una solución de DPPH
1104 del 0.0039%.

1105 Se preparan tubos de ensaye cubriéndolos con papel aluminio y se realizan las diluciones
1106 que aparecen en la tabla 3 para poder llegar a las concentraciones propuestas.

1107

Tabla 3. Concentraciones de los puntos para la curva estándar del método DPPH

CONCENTRACIÓN mg/100 ml	ÁC. ASCORBICO (ml)	METANOL 80% (ml)
25.0	2.00	0.00
21.0	1.68	0.32
17.0	1.36	0.64
12.5	1.00	1.00
9.0	0.72	1.28
5.0	0.40	1.60
0.0	0.00	2.00

1108

1109

1110
1111

3.4.1.3 CUANTIFICACIÓN EN MUESTRAS

1112 Al término de la preparación de la curva de calibración, se toman 0.1 ml de solución de cada
1113 punto de la curva estándar por cada concentración propuesta en la tabla mencionada
1114 anteriormente, del mismo modo para los extractos de las muestras y se le añaden 2.9 ml

1115 de DPPH, se agitan, dejándose reposar 30 min y se procede a la lectura a 517 nm, anexo
1116 1.

1117 **3.4.3 ANTOCIANINAS** 1118

1119 **3.4.3.1 PREPARACIÓN DE EXTRACTOS** 1120

1121 Se utilizaron 2 gr de muestra triturada (fresca y seca) el cual se colocó en un tubo de
1122 centrifuga cubierto con papel aluminio y se le agregan 5 ml de metanol acidificado al 1% de
1123 HCl, dejándose reposar por 60 min. El proceso de centrifugado fue por 10 min a 90 rpm. El
1124 sobrenadante se coloca en un frasco ámbar mientras que al precipitado se somete a una
1125 nueva extracción siguiendo el procedimiento anterior hasta que la muestra haya perdido su
1126 color. Una vez terminado la extracción se filtra con lana de vidrio para eliminar impurezas

1127

1128 **3.4.3.2 CUANTIFICACIÓN DE MUESTRAS** 1129

1130 Para la cuantificación de antocianinas se siguió el método descrito por Abdel-Aal y Hucl,
1131 1990. Para la cuantificación de antocianinas es necesario utilizar una alícuota de 1.5 ml del
1132 extracto y es medido por espectroscopia a 535 y 700 nm.

1133 El total de antocianinas es calculado en base a la ecuación 6.

1134

$$1135 \quad A = \left(\left(\frac{A_{535} - A_{700}}{\epsilon} \right) \right) \times \left(\frac{V_e}{1000} \right) \times (MW) \times \left(\frac{1}{WT} \right) \times (10^6) \quad (6)$$

1136

1137 Donde A es la concentración de antocianinas, A_{535} y A_{700} son las absorbancias del extracto,
1138 ϵ es el coeficiente de extinción molar de la cianidina 3-glucosido (25965 cm/mol), V_e es el
1139 volumen total del extracto (ml), MW es el peso molecular de la cianidina-3 glucósido (449.2
1140 g/mol) y WT es el peso total de la muestra. El contenido total de las antocianinas es
1141 expresado en mg de cianidina-3 glucósido/ kg. Se hace el ajuste de unidades con el peso
1142 en base seca de las muestras.

1143

1144 **3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

1145

1146 Se realizó una comparación en el porcentaje de retención final de propiedades
1147 nutraceuticas en el lecho fluidizado y vibrofluidizado, respetando las mismas condiciones
1148 de operación para determinar si había diferencias en cuando al uso de la vibración.

1149 El diseño experimental planteado fue factorial 2², donde las variables controlables fueron el
1150 tipo de secador y la temperatura del aire de secado. Las variables respuesta son las
1151 concentraciones finales de actividad antioxidante, fenoles totales y antocianinas,
1152 realizándose un ANOVA utilizando el programa Minitab 14.

1153

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 PRETRATAMIENTO

Se aplicó un escalde con una solución de CaCl_2 al 1%, para hacer fluidizable a los cubos de fresa. La combinación del efecto de calor y la inmersión en cloruro de calcio permite la formación de enlaces cruzados de puente salino (*interacciones electrostáticas*) con las moléculas de pectina de la pared celular, después de su desmetilación inducida por calor, lo que provoca una disminución del ablandamiento del material. (García et al. 1996). Este pretratamiento ha sido utilizado en el pimiento morrón para mejora su fluidización (Carrillo et al. 2010). En este caso sin la aplicación de este pretratamiento, la fluidización no se da en la fresa, sin importar que se aplique flujos de aires a altas velocidades, ya que se forman aglomeraciones e impiden la fluidización.

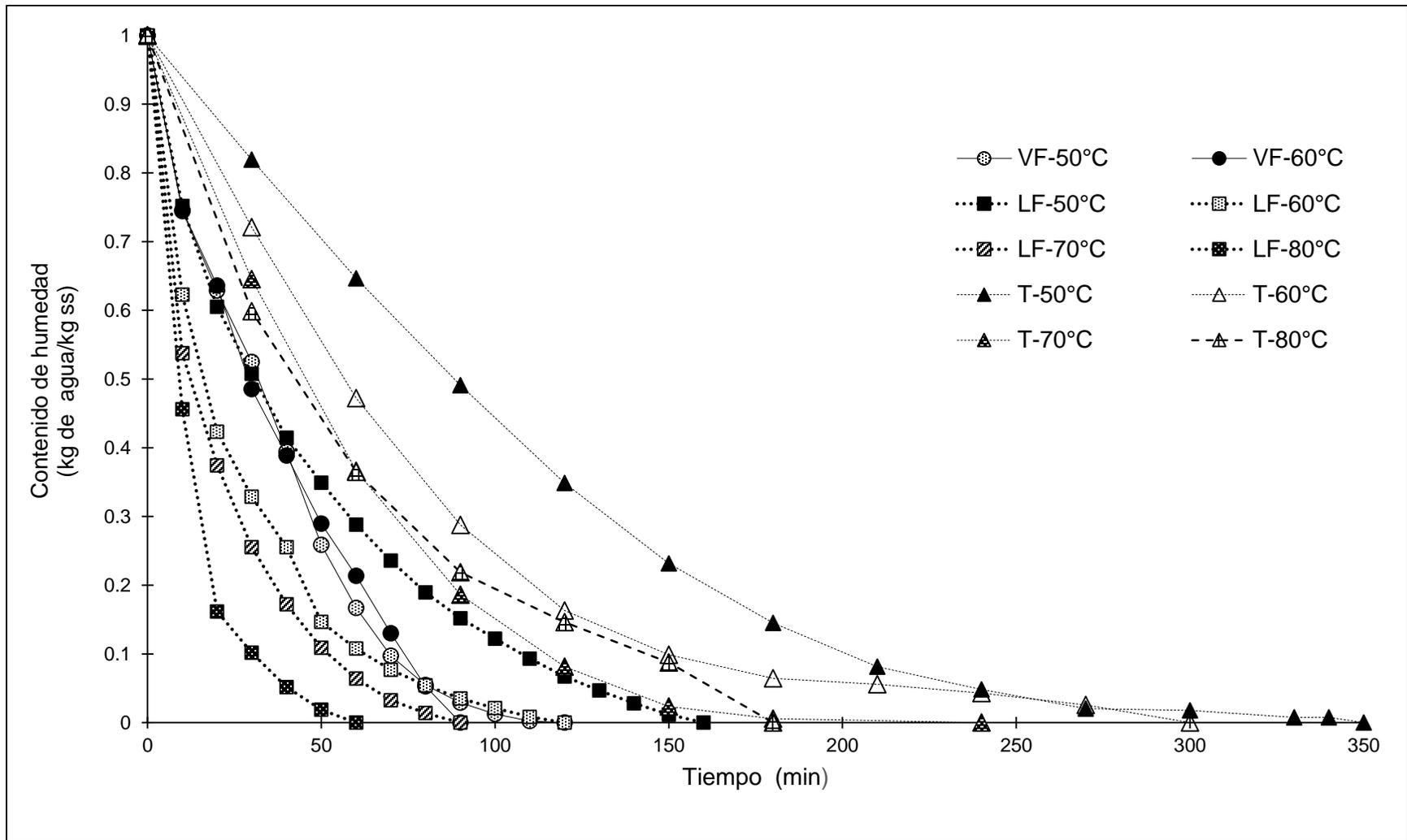
4.2 CINÉTICAS DE SECADO

En la gráfica 1 se muestra las cinéticas de secado, en contenido de humedad en base seca con respecto al tiempo para el LF, VF y T, para comparar cada una de las condiciones de secado, se determinó el tiempo de secado a un contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kg ss, Tabla 4.

Tabla 4 Tiempos de secado para un contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kg ss.

SECADOR	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	
VF (Vibrofluidizado)	50	60	1175
	60	70	1176
LF (Fluidizado)	50	100	1177
	60	60	
	70	50	1178
T (Túnel)	80	30	
	50	180	1179
	60	120	
	70	120	1180
	80	90	

El área de contacto y velocidad de aire que es unilateral en T alargan los tiempos de secado a diferencia del LF que por su principio de fluidización da una mayor transferencia de masa, lo que favorece la eliminación de agua (Kunii et al.1991). Estos resultados son similares con el trabajo de Ibrahim et al. 2006.



1185

1186

1187

Grafica 1. Cinéticas para el secador de lecho fluidizado (LF), túnel (T) y vibrofluidizado (VF) para cubos de fresa.

1188 **4.3 CURVAS DE RAPIDEZ DE SECADO**

1189

1190 En la gráfica 2 se presenta las curvas de rapidez de secado, todas las muestras presentan
1191 el periodo de velocidad constante, pero sí, de velocidad decreciente. El periodo de
1192 velocidad constante se da cuando el calor de evaporación es proporcionado por aire
1193 caliente, se establece un equilibrio dinámico entre la velocidad de transferencia de calor del
1194 aire al sólido y la velocidad de evaporación. Bajo estas condiciones la superficie del sólido
1195 alcanza la temperatura de saturación adiabática o temperatura de bulbo húmedo. Y en el
1196 periodo de velocidad decreciente en el cual el sólido no se encuentra tan húmedo en su
1197 superficie para mantener una película continua, por lo que la porción que queda húmeda
1198 comienza a disminuir durante este periodo hasta que comienza a secar en su totalidad
1199 (Geankoplis et al. 1998).

1200

1201 En la gráfica 2 se toma el contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kg ss para hacer la
1202 comparación entre las diferentes condiciones de secado, donde la rapidez de secado para
1203 el VF es más rápida que los otros dos secadores, tabla 5.

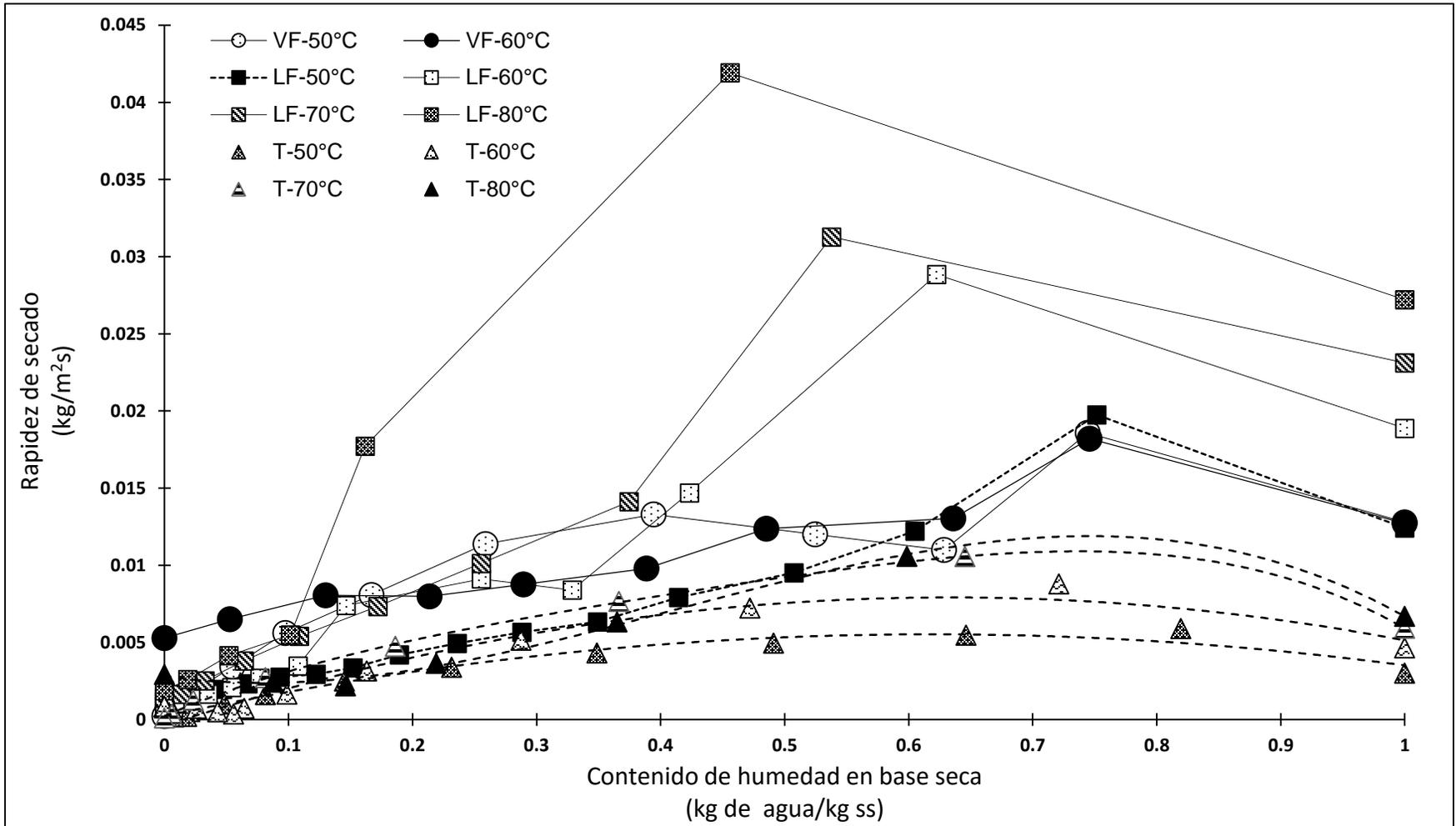
1204

1205 Tabla 5. Rapidez de secado para un contenido de humedad de 0.1 kg de agua/kgss.

Secador	Temperatura (°C)	Rapidez de secado (Kg/m ² s)
Vibrofluidizado (VF)	50	0.00804
	60	0.00806
Fluidizado (LF)	50	0.0029
	60	0.0034
	70	0.0053
	80	0.0054
Túnel (T)	50	0.0025
	60	0.0031
	70	0.0047
	80	0.0021

1206

1207



1208

1209

1210 Grafica 2. Cinéticas de rapidez de secado para el secador de lecho fluidizado (LF), túnel (T) y vibrofluidizado (VF) en cubos de fresa.

1211 El comportamiento de las curvas del VF para ambas temperaturas mostraron una tendencia
1212 similar, a diferencia del LF. La rapidez de secado para el VF es superior con respecto al LF
1213 y T; Para las temperaturas más altas se obtuvieron una mayor rapidez de secado.

1214 Esta rapidez de secado superior para los secadores de lecho se infiere que se deba a una
1215 velocidad de aire y a una mayor área de contacto a la que está expuesta la muestra. Los
1216 resultados coinciden con trabajos presentados por Doymaz et al. 2004 y Akpinar et al. 2006

1217

1218 **4.4 ANTOCIANINAS**

1219

1220 La cuantificación de antocianinas en el material fresco tuvo una concentración de
1221 25.21 ± 0.19 mg de cianidina-3 glucósido/100 grss. El resultado fue parecido con los
1222 resultados obtenidos por Lopes et al. 2005, donde realizo la cuantificación de antocianinas
1223 para diferentes variedades de fresa.

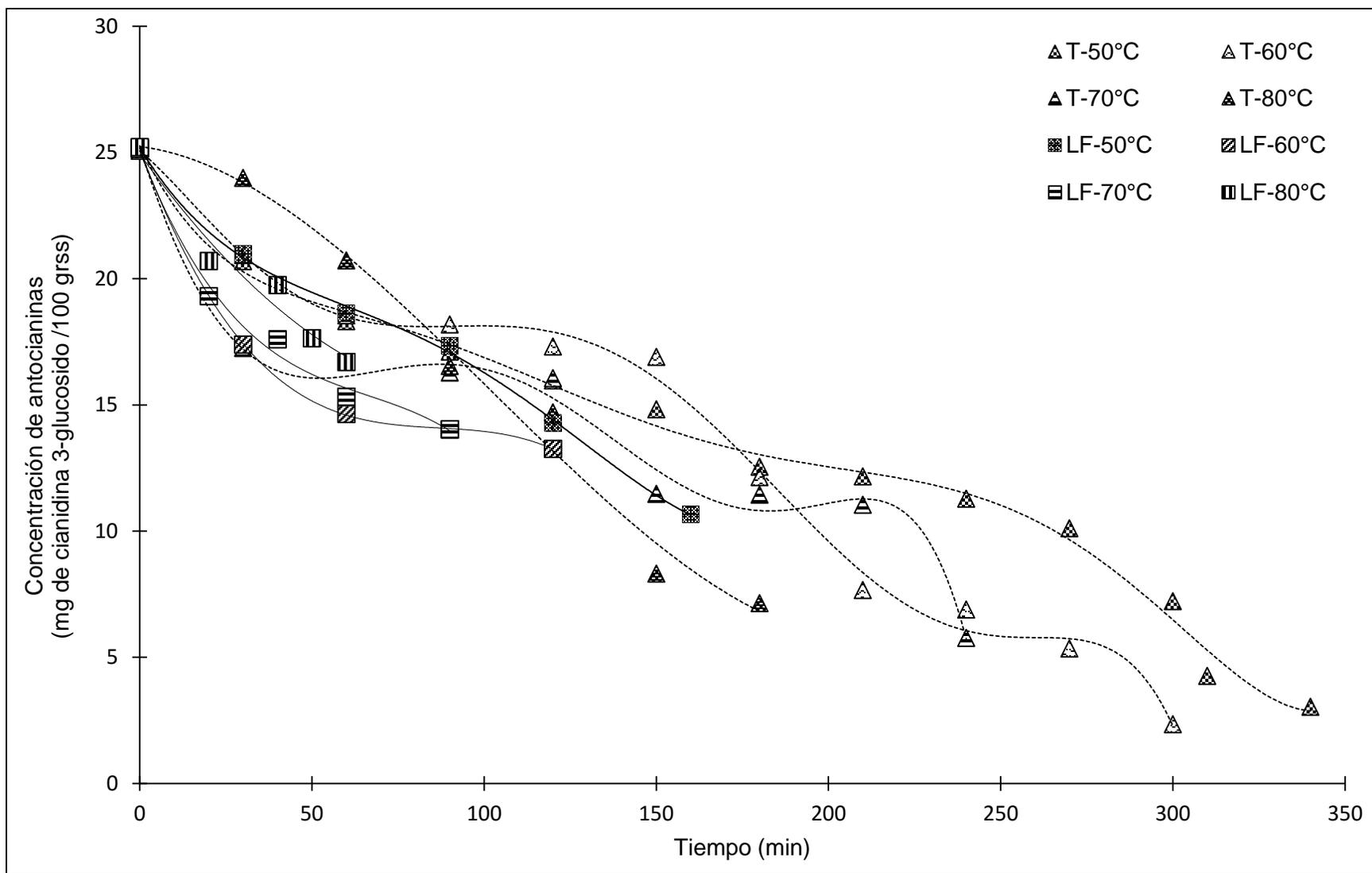
1224 La concentración final del contenido de antocianinas se observa en el anexo 7, donde los
1225 resultados muestran que para los secadores de lecho hay un contenido de antocianinas
1226 más elevado con respecto al T. Las temperaturas de 70°C y 80°C, son las que muestran
1227 mayor retención de antocianinas al final del secado.

1228 En la gráfica 3 se muestran las cinéticas de degradación de antocianinas para el LF y T. En
1229 algunas de las cinéticas de degradación se muestra un comportamiento en donde, en un
1230 intervalo de tiempo definido, no hay una degradación de antocianinas tan evidente, por
1231 ejemplo, para el T a 50°C se observa entre los 150-250 min, mientras que para 60°C se
1232 presenta entre los 60-160 min, 70°C entre 30-100 min y para 80°C no se muestra este
1233 fenómeno. En el caso del LF no se mostraron estos periodos de estabilidad.

1234 En el anexo 3 se muestran las concentraciones de antocianinas cada 30 min hasta el final
1235 del secado, mostrando que la temperatura no es un factor determinante para la retención
1236 de antocianinas, si no el tiempo de exposición a la que es sometida durante el secado.

1237

1238



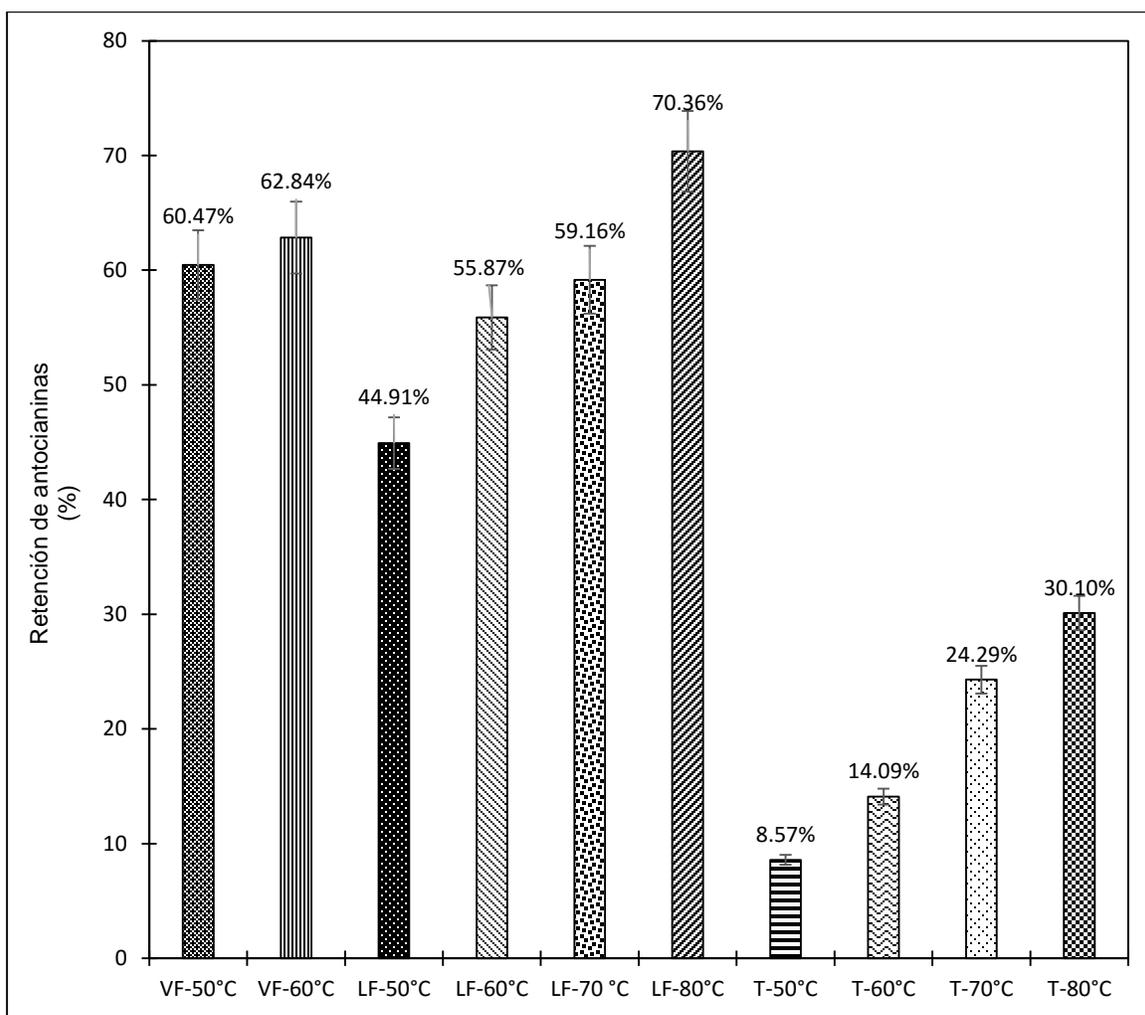
Grafica 3. Cinéticas de degradación de antocianinas

1239

1240

1241 En la gráfica 4 se muestra el porcentaje de retención de la concentración final de
1242 antocianinas. En el caso del VF para las temperaturas de 50°C y 60°C los porcentajes de
1243 retención fueron casi los mismos, esto coincide con los tiempos de secado que solo tuvieron
1244 una diferencia de 30 min, anexo 7.

1245 En el LF el porcentaje de retención fue entre del 44% al 70%, mientras que para el T fue
1246 del 8% al 30%. Se infiere que existe una relación del porcentaje de retención de
1247 antocianinas con respecto al tiempo de secado. Las condiciones que mostraron tiempos de
1248 secado menores fueron los que dieron mayor porcentaje de retención esto sucedió
1249 principalmente en los secadores de lecho ya que al tener una fluidización homogénea
1250 redujo los tiempos de secado y esto no perjudica a las antocianinas, ya que resisten
1251 periodos térmicos altos en periodos cortos de tiempo (Baudi et al. 2006).



1252

1253

1254

Grafica 4. Porcentaje de retención de antocianinas

1255 Las características para la estabilidad térmica de las antocianinas son las mismas que se
1256 presentan con el efecto del pH. La protonación de la base quinoidal azul origina al catión
1257 flavilio rojo, que al hidratarse produce la pseudobase carbinol incolora, la cual existe en un
1258 equilibrio con su chalcona incolora. En soluciones muy acidas (pH <0.5) el catión flavilio
1259 rojo es la única estructura. Con incrementos de pH la concentración del catión decrece al
1260 mismo tiempo que la hidratación da lugar a la base incolora del carbinol incolora. Entre pH
1261 4 y 5.5 habrá poco color, ya que las dos formas coloreadas estarán en bajas
1262 concentraciones y el equilibrio se desplazará a las formas incoloras. Por lo tanto, la forma
1263 chalcona es la más susceptible a la degradación, y la forma iónica flavilio es la más estable
1264 (Fennema et al. 1993).

1265

1266 **4.5 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

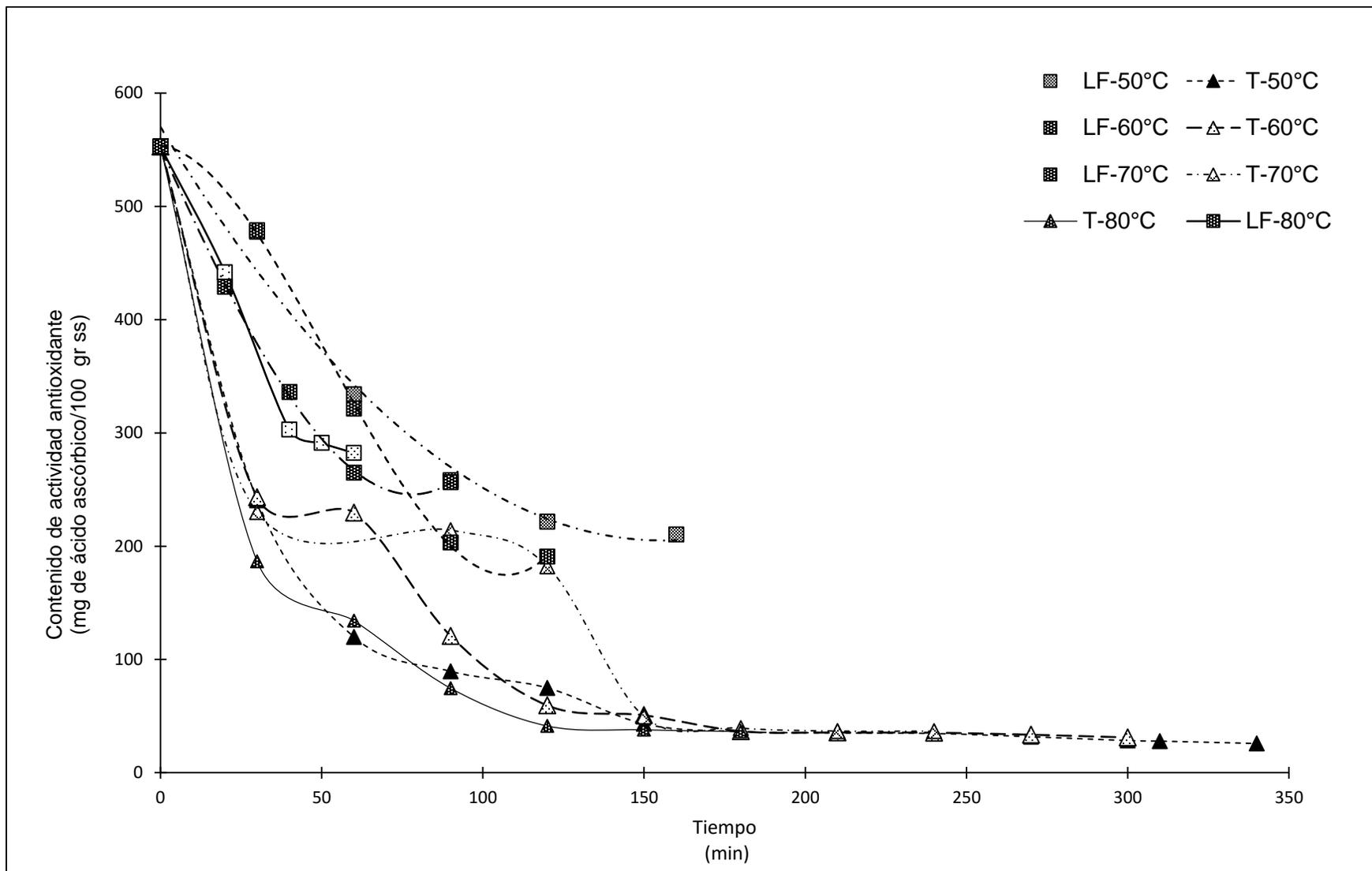
1267

1268 La cuantificación de actividad antioxidante en el material fresco tuvo una concentración de
1269 552.78 ± 0.53 mg de ácido ascórbico/100 gr ss, este resultado entra en el rango de
1270 concentraciones reportado por Aneta et al. 2009.

1271 En el anexo 7 se muestra la concentración final de actividad antioxidante. Para los
1272 secadores de lecho se obtuvieron mayores concentraciones con respecto al T, además las
1273 temperaturas altas mostraron tiempos de secado más cortos y concentraciones de actividad
1274 antioxidante más elevadas.

1275 En la gráfica 4 se presentan las cinéticas de degradación del contenido de actividad
1276 antioxidante. El comportamiento de algunas de las cinéticas de degradación se mostró
1277 similar al reportado en el *capítulo 5.4 Antocianinas*, donde los intervalos de tiempo se
1278 mantienen estables es de 60-120 min (50°C), 30-60 min (60°C), 30-110 min (70°) y para
1279 80°C no se mostró este efecto. Para el LF tampoco se presentan estos periodos.

1280 En el anexo 4 se presentan las tablas de las concentraciones de actividad antioxidante de
1281 cada 30 min hasta el final del secado, mostrando que la temperatura no es un factor
1282 determinante para la retención de actividad antioxidante, si no el tiempo de exposición a la
1283 que es sometida durante el secado.



1284

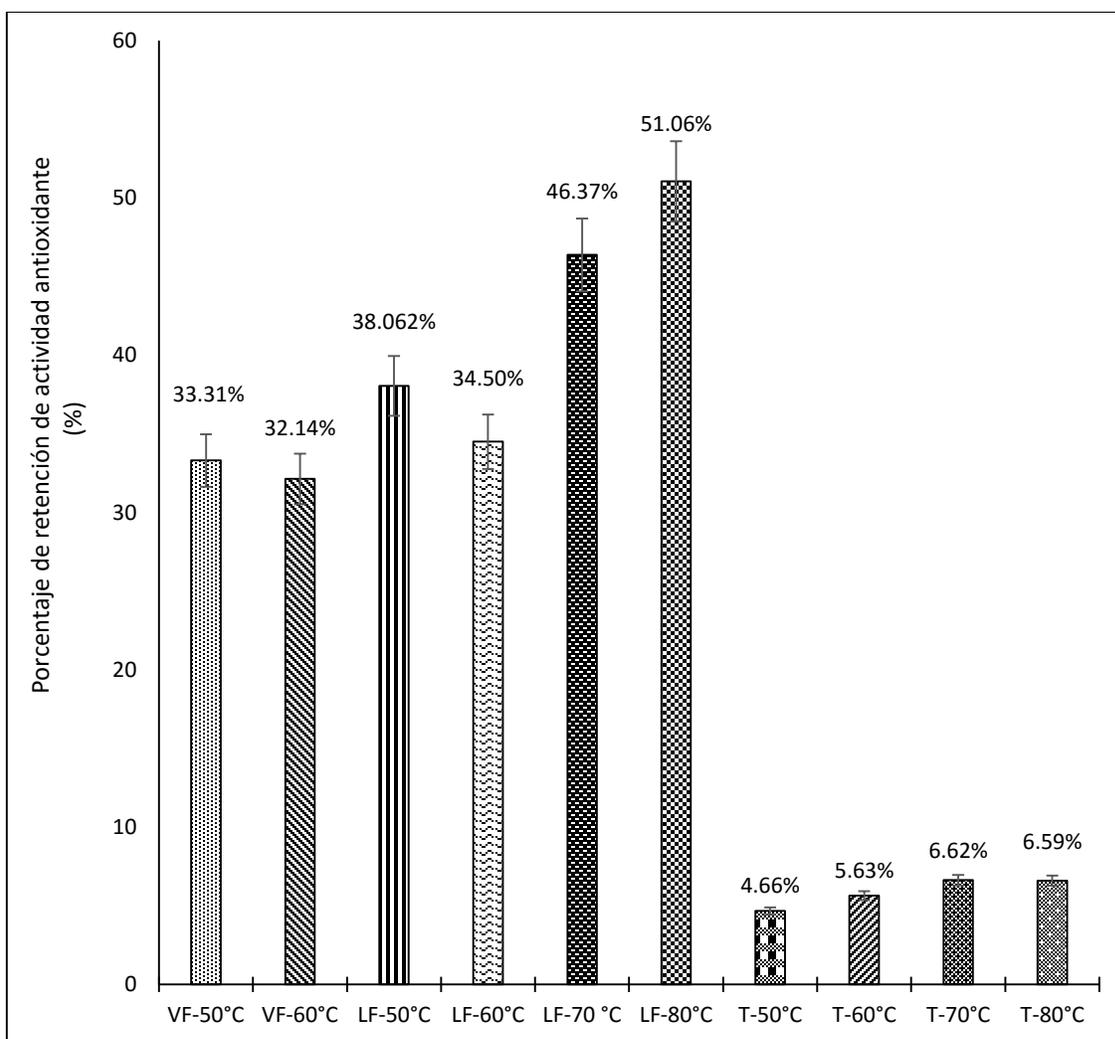
1285

Grafica 5. Cinéticas de degradación de actividad antioxidante.

1286 En la gráfica 6 se muestra el porcentaje de retención de actividad antioxidante para cada
1287 una de las corridas de secado. El porcentaje de retención para el VF a 50°C y 60°C fue del
1288 rango del 30% donde no hubo una diferencia notable.

1289 En el caso del LF el porcentaje de retención abarco del 38% al 51%, mientras para el
1290 secador T abarco del 4.66% al 6.59%. En ambos secadores el porcentaje de retención
1291 mayor lo obtuvo la temperatura más elevada (70°C y 80°) ya que son las condiciones que
1292 tienen tiempos de secado más cortos. Sin embargo, el secador T se vio más afectado en el
1293 porcentaje de retención de actividad antioxidante comparada con los secadores de lecho y
1294 fue muy por debajo su retención comparada con las antocianinas.

1295



1296

1297

1298

Grafica 6. Retención de actividad antioxidante

1299 La disminución del porcentaje de retención de actividad antioxidante, se infiere que se deba
1300 a que el efecto de la actividad antioxidante está dado por fenoles y antocianinas entre otros
1301 compuestos que son termolábiles y la mayor degradación de alguno de ellos disminuiría el
1302 efecto de la actividad antioxidante. (Huang, et al. 2012).

1303 El porcentaje de retención para antocianinas en el LF fue del 40-70% pero en comparación
1304 para fenoles totales fue de del 30% y su porcentaje de retención de actividad antioxidante
1305 fue del 38-51%, por lo que se infiere que el efecto de actividad antioxidante esta dado
1306 principalmente por las antocianinas, este fenómeno también se presenta en el secador T
1307 en menor porcentaje de retención.

1308

1309 **4.6 FENOLES TOTALES**

1310

1311 La concentración inicial de fenoles totales es de 346.51 ± 0.16 mg de ácido gálico/100 gr
1312 ss. Los valores coincidieron con los resultados obtenidos por Kelebek et al. 2011.

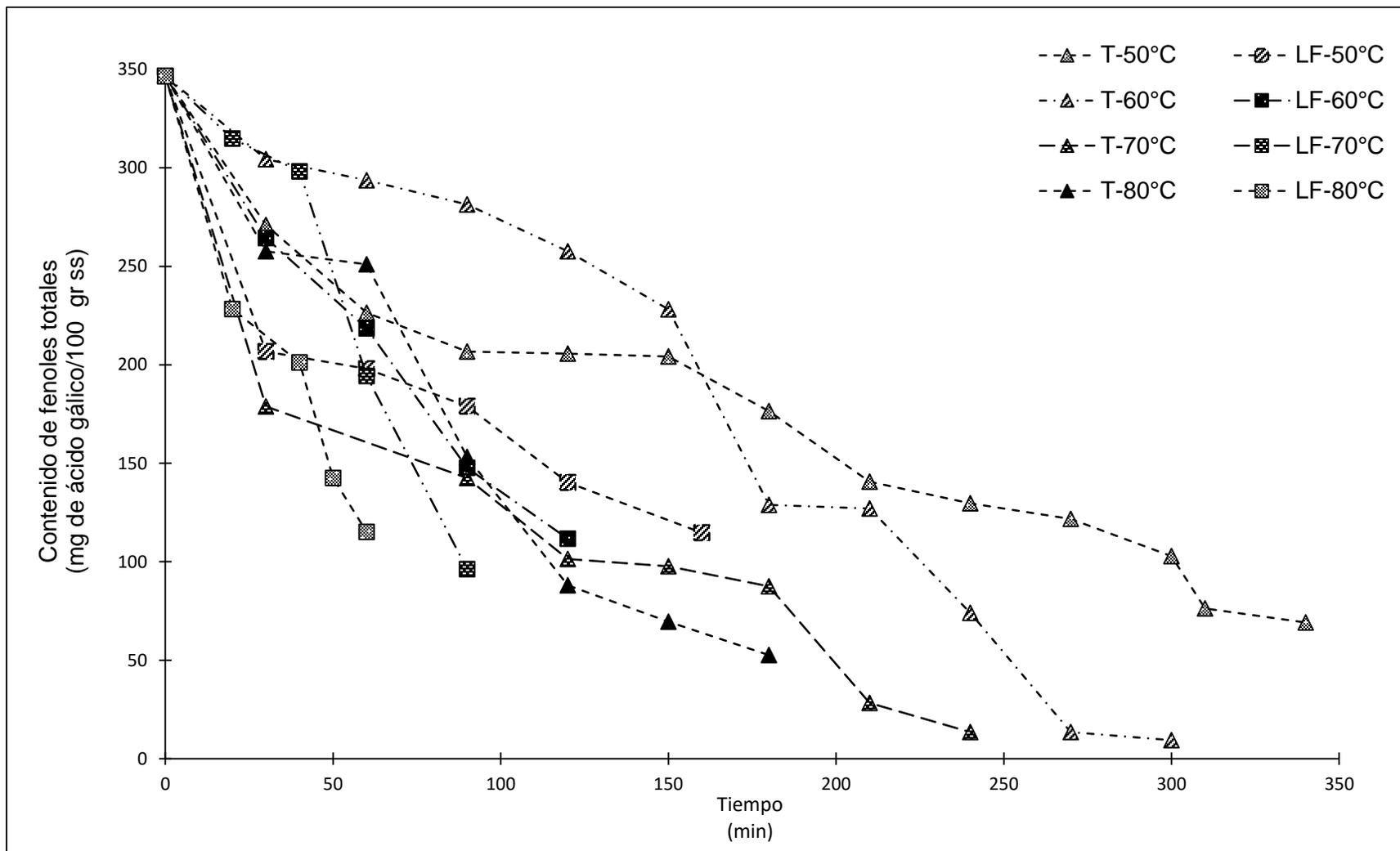
1313 En el anexo 8 se muestran las concentraciones finales de fenoles totales para los secadores
1314 en general. Las concentraciones más altas las obtiene los secadores de lecho, las
1315 temperaturas de 70°C y 80°C mostraron mayor retención con respecto a las temperaturas
1316 de 50°C y 60°C. En comparación con la concentración final de antocianinas y actividad
1317 antioxidante los fenoles totales sufrieron mayor degradación.

1318 En la gráfica 7 se muestra las cinéticas de degradación de fenoles totales para el T y LF. El
1319 comportamiento de las cinéticas en comparación a las antocianinas y actividad antioxidante,
1320 para el secador T mostraron sus periodos de estabilidad a 50°C entre 60-160 min, para
1321 60°C es de 20-150 min, a 70°C es de 30-90 min y 80°C entre 20-60 min.

1322 El periodo de estabilidad para el LF a los 50°C se presenta entre los 30-90 min. Sin embargo,
1323 este efecto de estabilidad no se encontró en algún otro tratamiento, en el anexo 5 se
1324 muestran las concentraciones del grafico 7.

1325

1326



Grafica 7. Cinéticas de degradación para fenoles totales.

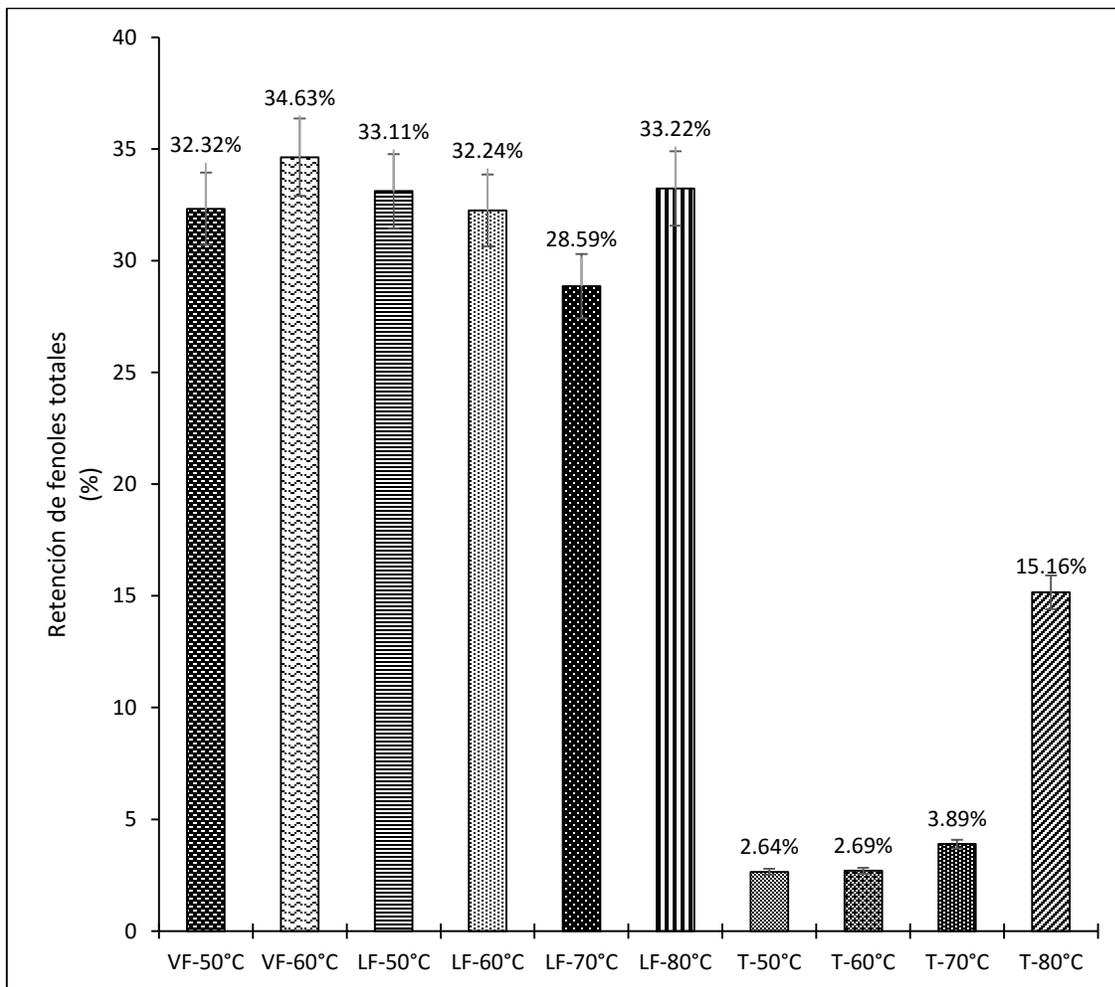
1327

1328

1329 En la gráfica 8 se muestra el porcentaje de retención de fenoles totales. Para los secadores
1330 de lecho el porcentaje de retención fue del 28% al 34% a diferencia del porcentaje de
1331 retención de las antocianinas y actividad antioxidante, no se observa una gran diferencia
1332 para las temperaturas de 70°C y 80°C que hayan favorecido a la retención por tener tiempos
1333 más cortos de secado.

1334 En el caso del secador T afecto significativamente a los fenoles totales mostrando
1335 porcentajes de retención del 2% al 15.16%, en este caso se ven ligeramente beneficiados
1336 los fenoles totales en las temperaturas de 80°C que es la condición con menor tiempo de
1337 secado.

1338



1339

1340

1341

1342

Grafica 8. Retención (%) del contenido de fenoles totales

1343

4.7 COLOR

1344

4.7.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE COLOR

1345

1346 El análisis de color se reportó en la tabla 6 donde se muestran los valores de color de a*,
 1347 b*, L*, C* y H* para las muestras finales de secado. Donde el parámetro a* indica el color
 1348 rojo si es positivo y al ser negativo indica la proximidad al color verde. En el caso del
 1349 parámetro b* representa tonalidades amarillo si el valor es positivo y si es negativo indica
 1350 la tendencia hacia el azul. El parámetro L* hace referencia al oscurecimiento en el rango
 1351 0-50; valores de 51-100 indican la claridad del material. El parámetro C* indica el grado de
 1352 separación entre un tono determinado y un gris de la misma claridad, tiene el valor 0 para
 1353 estímulos acromáticos y no es superior de 150, aunque puede superar ese valor para
 1354 estímulos monocromáticos.

1355

Tabla 6. Parámetros de color para muestras finales en el LF, VF y T

Secador	Temperatura °C	a*	b*	L*	c*	h*
Fresco	-	31.68±1.16	32.49±1.93	26.34±3.31	45.37±0.36	0.79±0.27
VF	50	29.47±0.26 ^a	22.29±0.11 ^b	23.71±0.36 ^c	36.95±0.24 ^d	0.64±0.0004 ^e
	60	27.88±0.06 ^a	22.39±0.11 ^b	21.58±0.27 ^c	35.76±0.08 ^d	0.67±0.002 ^e
LF	50	21.37±0.32 ^a	21.02±0.040 ^c	10.48±0.20 ^e	29.98±0.23 ^f	0.07±0.007 ^h
	60	14.66±0.90 ^a	23.98±0.93 ^c	14.03±0.26 ^e	29.25±0.83 ^f	1.07±0.031 ^h
	70	22.61±0.23 ^a	14.57±0.36 ^c	20.32±0.29 ^e	26.90±0.38 ^f	0.57±0.007 ^h
	80	19.36±0.30 ^a	25.28±0.31 ^c	16.00±0.10 ^e	31.92±0.43 ^f	0.92±0.001 ^h
	50	29.13±0.38 ^b	27.55±0.41 ^d	16.00±0.009 ^e	40.10±0.09 ^g	0.75±0.01 ^h
T	60	41.94±0.5 ^b	32.17±0.14 ^d	17.95±0.18 ^e	52.86±0.43 ^g	0.65±0.005 ^h
	70	26.28±0.31 ^b	27.73±0.27 ^d	15.30±0.34 ^e	38.20±0.38 ^g	0.81±0.003 ^h
	80	40.67±0.71 ^b	32.37±0.27 ^d	20.33±0.31 ^e	51.98±0.65 ^g	0.67±0.007 ^h

1356

Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

1357 El parámetro H^* indica el tono de un color, mostrando la posición en una escala de 100
1358 tonos, escala compuesta por 10 tonos fundamentales, en definitiva, el tono serían las
1359 variaciones que un solo color puede tener al combinarlo con otros. El tono angular o ángulo
1360 métrico de tonalidad H^* varía entre 0 y 360°.

1361 El color rojo disminuye con el tiempo de secado en todas las condiciones trabajadas. El
1362 parámetro a^* en estado fresco fue comparado con los valores de a^* para 50°C y 60°C en el
1363 VF, mostraron diferencias significativas, al igual que la comparación entre secadores (VF,
1364 LF y T) a las mismas temperaturas antes mencionadas. La poca variación del parámetro a^*
1365 en las diferentes temperaturas del VF coincidieron con el porcentaje de retención de
1366 antocianinas que tampoco tuvo una gran variación. Aunque se esperaría que el parámetro
1367 a^* a 60°C fuera mayor con respecto a 50°C, ya que el porcentaje de retención de
1368 antocianinas a 60°C fue de 62.84% en comparación con un 60.47% a 50°C.

1369 El parámetro b^* en estado fresco sufrió una disminución en algunos de los tratamientos de
1370 secado. La comparación de b^* en estado fresco con los valores obtenidos a 50°C y 60°C
1371 del VF mostraron diferencias significativas, al igual que la comparación entre secadores.

1372 Para el secador LV en el parámetro L^* a las temperaturas de 50°C y 60°C no mostro
1373 diferencias significativas. Mientras que para los parámetros C^* y H^* si hubo diferencias
1374 significativas. El valor de L^* , C^* y H^* fue comparado con los diferentes secadores mostrando
1375 diferencias entre 50°C y 60°C. El parámetro L^* indica que todos los tratamientos muestran
1376 un ligero oscurecimiento con respecto al valor en estado fresco. El valor de C^* y H^*
1377 disminuye al final algunas condiciones de secado.

1378 Para los secadores de LF y T el parámetro a^* mostro diferencias significativas con el valor
1379 en estado fresco y con el valor de a^* obtenido a las temperaturas de secado (50°C, 60°C,
1380 70°C y 80°C)

1381 Para el secador LF se muestran cambios de a^* para todas las temperaturas de secado. El
1382 parámetro rojo siendo mayor para las temperaturas de 50°C y 70°C. En el secador de T se
1383 observó un incremento del parámetro a^* en las temperaturas de 60°C y 80°C. este tipo de
1384 secador afecto considerablemente este parámetro. Para LF el color tuvo el mismo
1385 comportamiento que el porcentaje de retención de antocianinas para la temperatura de
1386 70°C y para el secador T a 80°C.

1387 Estos resultados sugieren que existe una correlación entre el contenido de antocianinas y
1388 el color (Skupień & Oszmiański, 2004).

1389 Para el secador LF, el parámetro b^* muestra diferencias significativas en el material fresco
1390 y en el secado a todas las temperaturas. Para el secado solo hay diferencias significativas
1391 en las temperaturas de 50°C y 70°C. Comparando los secadores T y LF el parámetro b^*
1392 mostro diferencias significativas. En el caso del LF presento un aumento del parámetro b
1393 con respecto al aumento de la temperatura a excepción del tratamiento a 70°C. En el
1394 secador de T las temperaturas de 60°C y 80°C coincidieron con el valor de b^* en estado
1395 fresco y para 50°C y 70°C se mantuvieron en un valor similar al parámetro b^* obtenido por
1396 los lechos.

1397 Para el LF se mostró un obscurecimiento mayor en las temperaturas de 50°C y 60°C. En el
1398 caso del secador T las temperaturas que mostraron mayor obscurecimiento fueron a 60°C
1399 y 80°C.

1400 Para el secador de LF y T, el parámetro C^* fue comparada con el valor del material fresco
1401 y mostro diferencias significativas, al igual que la comparación entre secadores.

1402 La comparación de las temperaturas en el secador de LF no muestra diferencia en el
1403 parámetro C^* , mientras que para el secador de T es donde el cambio de C^* es más evidente
1404 para las temperaturas de 60°C y 80°C.

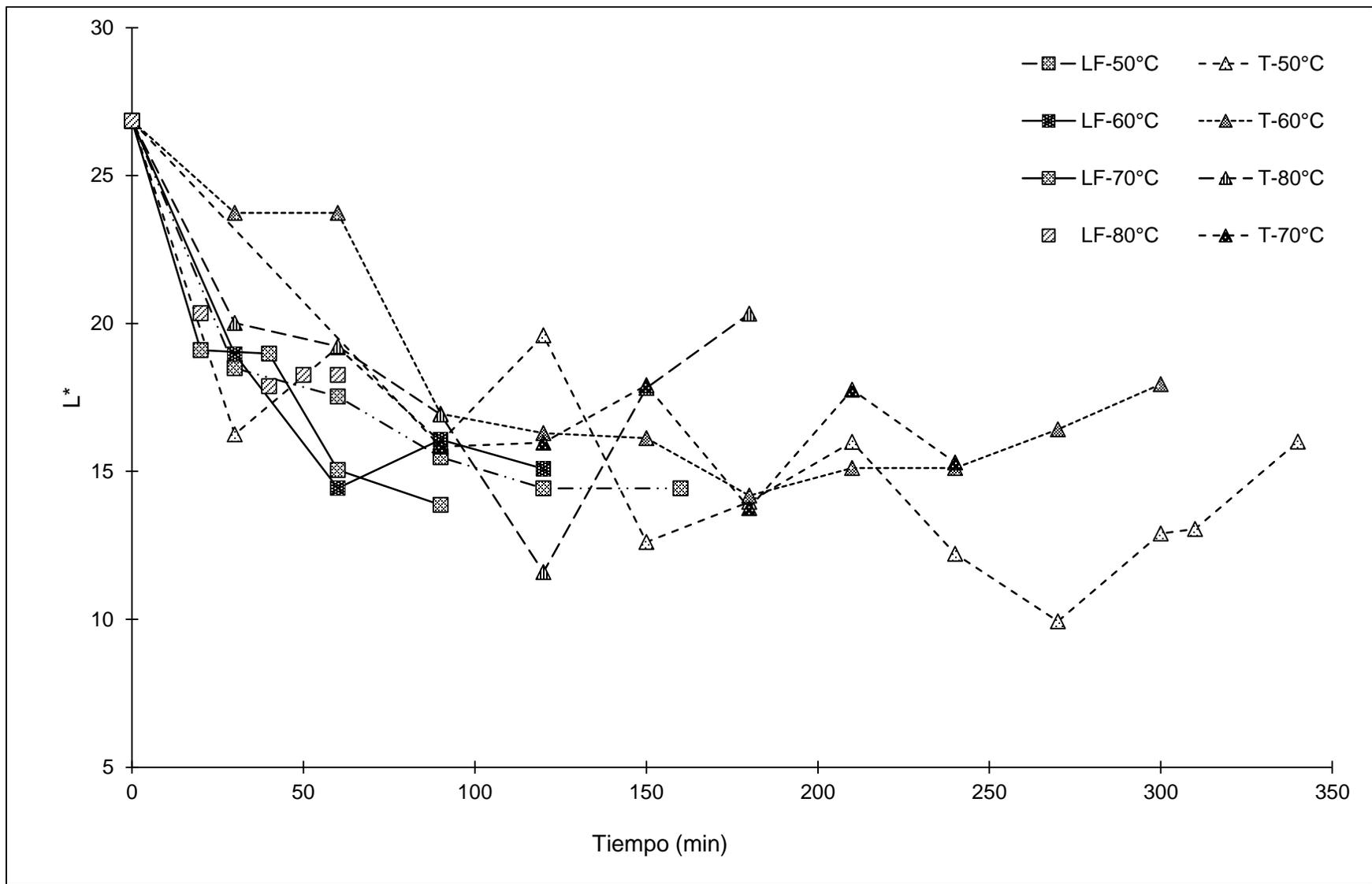
1405 El parámetro H^* en el LF y T fue comparado con el valor de en estado fresco y se
1406 encontraron diferencias significativas al igual que la comparación entre secadores. Para el
1407 LF a una temperatura de 60°C y 80°C el valor de H^* aumenta disminuyendo en 50°C y
1408 70°C. Y finalmente para el secador de T hay un aumento en las temperaturas de 50°C y
1409 70°C.

1410 **4.7.2 ANÁLISIS DE CINÉTICAS DE COLOR**

1411

1412 En la gráfica 9 y anexo 6 se muestra la cinética de L^* para el LF y T. Para las condiciones
1413 de secado del T se muestran periodos de variación para el valor L^* que indican un
1414 incremento o reducción de la luminosidad. En el LF solo se muestra el decremento de la
1415 luminosidad.

1416

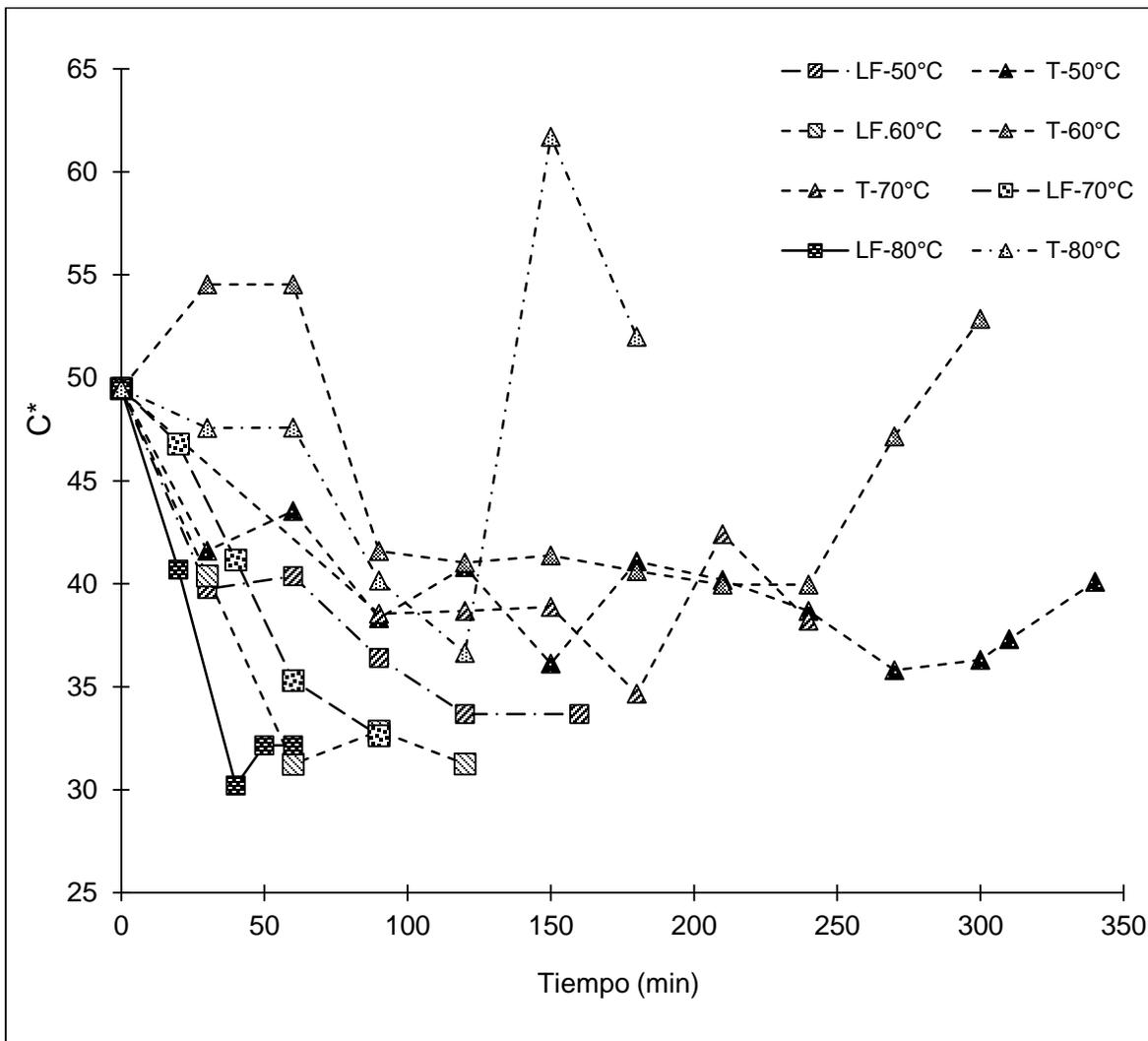


Gráfica 9. Cambio de L* con respecto al tiempo para el LF y T

1417
1418

1419 En la gráfica 10 se muestra el cambio de C^* con respecto al tiempo donde para el secador
 1420 T se presentan ligeros incrementos de C^* en intervalos de tiempo determinados, en el LF
 1421 no se observa este efecto. Para el secador LF mostro una menor intensidad del color, en el
 1422 secador T la intensidad del color se mantuvo a la inicial.

1423

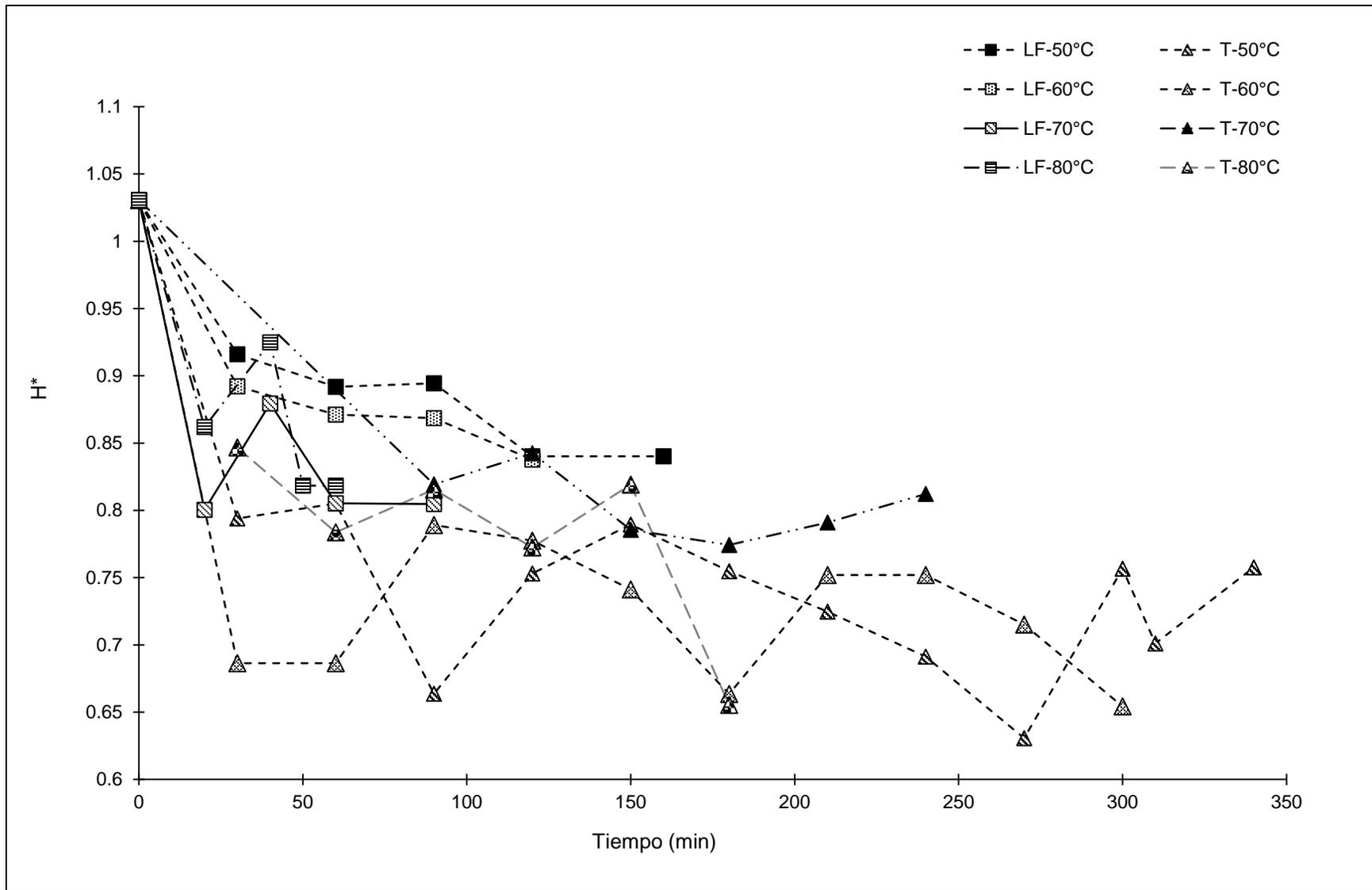


1424

1425 Grafica 10. Cambio de C^* con respecto al tiempo en un secador de lecho fluidizado (LF) y
 1426 túnel (T)

1427

1428 En la gráfica 11 se muestra la cinética de H^* . El comportamiento de las curvas para el
 1429 secador T, muestra incrementos en tiempos determinados como en el caso de C^* , de la
 1430 misma manera este efecto no se presenta en el LF.



Grafica 11. Cambio de L^* con respecto al tiempo en un secador de lecho fluidizado (LF) y túnel (T)

1432 La diferencia de color total (ΔE) indica las diferencias en coordenadas absolutas de color
 1433 total. En la gráfica 12 se presenta la cinética de color total. En el caso de T se muestran
 1434 incrementos y decrementos a lo largo del tiempo de secado, indicando degradación y
 1435 formación de nuevos compuestos que tienen color. Para el secador de LF se muestra un
 1436 incremento en todos los casos. Para los secadores de LF y T no dieron diferencias
 1437 importantes en el cambio de color total Tabla 7.

1438

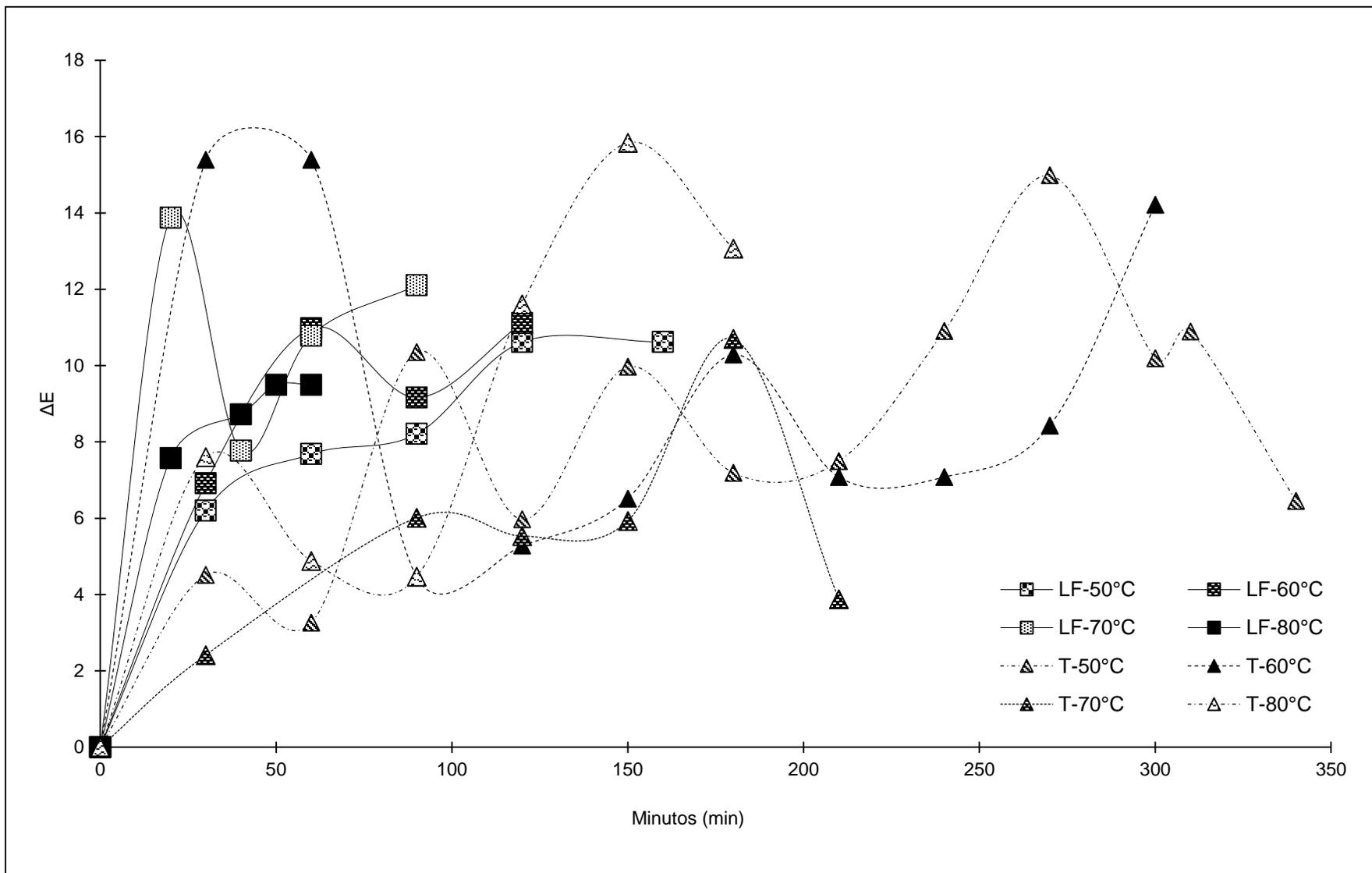
1439 Tabla 7. Valores de diferencia de color total para los diferentes secadores

1440

Secador	Temperatura °C	Diferencia de color total (ΔE)
VF	50	10.76±0.32
	60	11.79±0.14
LF	50	10.61±0.13
	60	11.11±1.5
	70	12.10±0.36
	80	9.49±0.78
	50	6.45±0.39
T	60	14.20±0.17
	70	6.63±1.31
	80	13.06±0.93
	50	6.45±0.39

1441

1442 Probablemente el efecto del escalde disminuyo la degradación de las antocianinas, ya que
 1443 la interacción de la polifenoloxidasas con el D-catequin disminuye la degradación del color
 1444 de la fresa en un 50% a 60% (Wesche-ebeling et al. 1990), además que se ha determinado
 1445 que, en concentrados de fresa, la influencia enzimática sobre la retención del color y como
 1446 se desactiva este fenómeno por medio del escalde (Wrolstad et al. 1980).



Gráfica 12. Cinéticas de cambio de color total.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

1448

1449

1450

1451 El pretratamiento de cloruro de calcio permitió la fluidización de fresa y permitió el secado
1452 pro lecho fluidizado.

1453 El secador de lecho fluidizado y el vibrofluidizado tiene tiempos de secado más cortos en
1454 comparación que el secador de T.

1455 El secador de lecho fluidizado mostro mayor rapidez para el secado de fresa a las
1456 temperaturas de 70°C y 80°C.

1457 Las antocianinas fueron el compuesto que tuvieron mejores porcentajes de retención en los
1458 secadores de lecho.

1459 El secador de túnel a 80°C fue el que mostro mejores porcentajes de retención menores
1460 para antocianinas, fenoles y actividad antioxidante.

1461 La degradación de las antocianinas fenoles y actividad antioxidante durante el secado
1462 convectivo es causado por tiempos largos de exposición térmica y no por la temperatura de
1463 secado.

1464 Se encontró una relación de color (parámetro a^*) con el contenido de antocianinas.

1465 Para preservar el color rojo y la luminosidad (a^* y L) es mejor el uso de secadores de lecho
1466 vibrofluidizado y fluidizado.

1467 Para mantener los parámetros de C^* y H^* es mejor el uso del secado de túnel.

1468 El cambio de color total fue similar en los secadores de lecho vibrofluidizado, fluidizado y
1469 túnel probablemente por el pretratamiento de escalde.

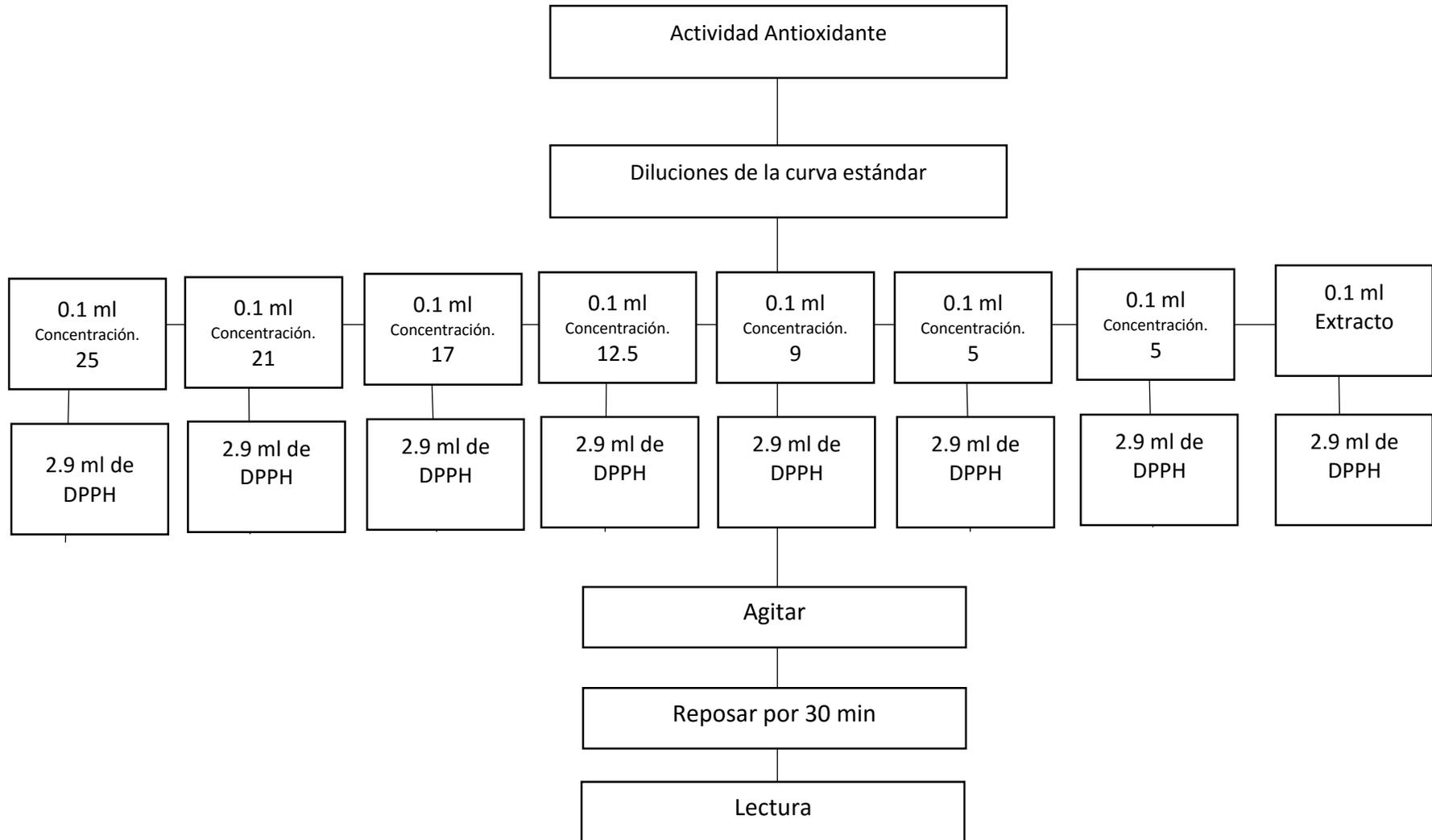
1470 Una alternativa para el secado de fresa en cubos con pretratamientos es el secado de lecho
1471 fluidizado porque tiene tiempos cortos de secado y conserva un porcentaje alto de
1472 nutraceuticos y un color final adecuado.

1473

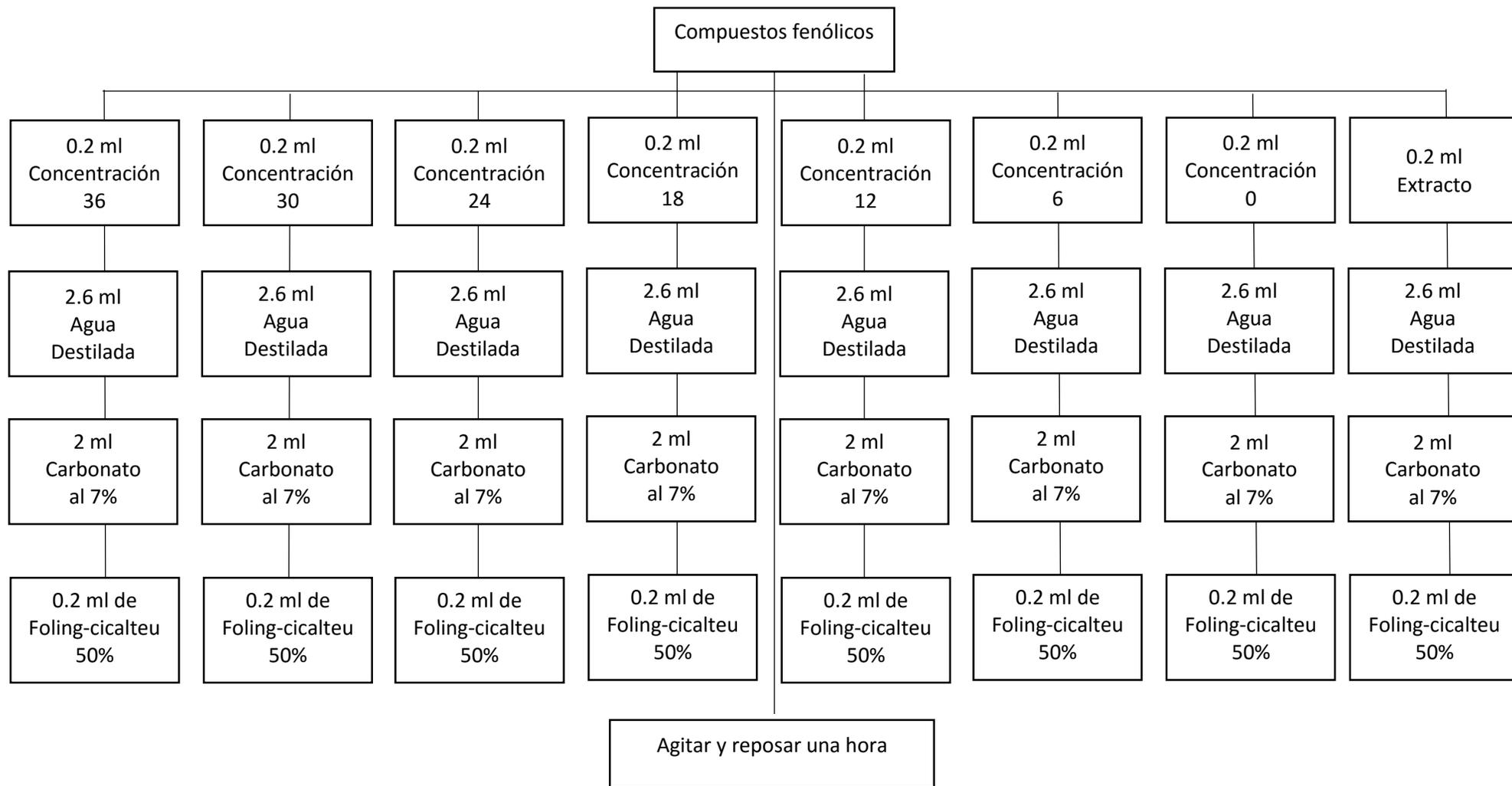
1474

ANEXOS

ANEXO 1: DIAGRAMA DETERMINACIÓN DE LA CUANTIFICACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.



ANEXO 2: DIAGRAMA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE FENOLES TOTALES



ANEXO 3: TABLAS DE ANTOCIANINAS EN EL LECHO FLUIDIZADO Y TÚNEL

Tabla 8. Análisis de las concentraciones de antocianinas a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	25.21±0.19			
30	20.98±0.58 ^b	17.39±0.75 ^b	19.30±0.43 ^b	20.70±0.61 ^b
60	18.62±0.69 ^{bc}	14.64±0.71 ^{bc}	17.60±0.36 ^{bc}	19.75±0.54 ^{bc}
90	17.34±0.39 ^{bc}	14.02±0.27 ^{bc}	15.32±0.17 ^{bc}	-
120	14.28±0.98 ^c	13.25±0.14 ^c	-	-
160	10.65±0.87	-	-	-

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

Tabla 9. Análisis de las concentraciones de antocianinas a través del tiempo de secado por medio del túnel.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	25.21±0.19			
30	20.69±0.028 ^{ab}	20.93±0.006 ^{ab}	17.25±0.05 ^{ab}	23.99±0.02 ^{ab}
60	18.32±0.092 ^{bc}	18.54±0.015 ^{bc}	16.28±0.187 ^{bc}	20.72±0.012 ^{bc}
90	17.10±0.31 ^{bcd}	18.18±0.02 ^{bcd}	16.05±0.05 ^{bcd}	16.54±0.15 ^{bcd}
120	15.96±0.23 ^{cde}	17.31±0.29 ^{cde}	11.47±0.13 ^{cde}	14.70±0.14 ^{cde}
150	14.82±0.028 ^{de}	16.89±0.13 ^{de}	11.44±0.13 ^{de}	8.31±0.14 ^{de}
180	12.54±0.77 ^e	12.14±0.13 ^e	11.04±0.007 ^e	7.14±0.002 ^e
210	12.16±1.4 ^e	7.66±0.011 ^e	5.76±0.05 ^e	-
240	11.28±0.14 ^{fe}	6.88±0.67 ^{fe}	-	-
270	10.10±0.25 ^{gh}	5.34±0.13 ^{gh}	-	-
300	7.22±0.12 ^h	2.34±0.14 ^h	-	-
310	4.26±0.13 ^h	-	-	-
340	3.03±0.10 ^h	-	-	-

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

ANEXO 4: TABLAS DE CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN EL LECHO FLUIDIZADO Y TÚNEL

Tabla 10. Análisis de las concentraciones de actividad antioxidante a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	552.78±0.53 ^a	552.78±1.25 ^a	552.78±1.36 ^a	552.78±0.36 ^a
30	477.55±0.94 ^{ab}	478.94±1.36 ^{ab}	429.05±1.82 ^{ab}	441.84±0.14 ^{ab}
60	334.16±0.63 ^{cb}	321.47±0.36 ^{cb}	336.01±1.47 ^{cb}	302.83±0.25 ^{cb}
90	258.26±0.17 ^{bcd}	203.25±0.37 ^{bcd}	264.84±0.36 ^{bcd}	
120	221.66±0.47 ^{de}	190.75±1.39 ^{de}		
160	210.40±0.36 ^e			

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

Tabla 11. Concentraciones de actividad antioxidante en muestras secadas por el túnel.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	552.78±0.04 ^a	552.73±0.45 ^a	552.78±0.36 ^a	552.78±0.36 ^a
30	240.40±0.36 ^b	243.22±0.63 ^b	229.96±0.12 ^b	186.49±0.14 ^b
60	119.88±0.96 ^{bc}	229.61±0.14 ^{bc}	214.19±0.58 ^{bc}	134.27±0.36 ^{bc}
90	89.53±0.24 ^{cd}	120.76±0.36 ^{cd}	182.20±0.45 ^{cd}	74.64±0.28 ^{cd}
120	74.89±0.36 ^{de}	59.43±0.14 ^{de}	49.57±.65 ^{de}	41.31±0.23 ^{de}
150	43.12±.012 ^e	50.76±0.36 ^e	39.28±0.41 ^{bcd}	37.93±0.24 ^{bcd}
180	36.24±0.14 ^e	36.65±0.74 ^e	36.73±0.36 ^e	36.45±0.50 ^e
210	35.20±.078 ^e	35.55±0.25 ^e	36.64±0.37 ^e	
240	34.63±0.98 ^e	35.34±0.23 ^e		
270	31.77±0.63 ^e	33.56±0.32 ^e		
300	28.37±0.12 ^e	31.174±0.36 ^e		
310	27.89±0.78			
340	25.81±0.98			

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

ANEXO 5: TABLAS DE CONCENTRACIÓN DE FENOLES TOTALES EN EL SECADO DE LECHO FLUIDIZADO Y TÚNEL

Tabla 12. Análisis de las concentraciones de fenoles totales a través del tiempo de secado por medio del lecho fluidizado.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	346.51±0.16 ^a	346.51±0.14 ^a	346.51±0.04 ^a	346.51±0.33 ^a
30	206.68±0.07 ^{ba}	264.34±0.60 ^{ba}	314.87±0.89 ^{ab}	228.27±1.40 ^{ab}
60	197.98±0.06 ^{ab}	218.47±0.45 ^{ab}	298.22±0.65 ^{ab}	115.14±0.78 ^{ab}
90	178.93±0.09 ^{bc}	147.66±0.02 ^{bc}	194.27±2.72 ^{bc}	
120	140.30±0.25 ^c	111.74±0.04 ^c		
160	114.73±0.35 ^c			

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

Tabla 13. Concentraciones de fenoles totales en muestras secadas por el túnel.

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	50	60	70	80
0	346.51±0.16 ^a	346.51±0.43 ^a	346.51±1.35 ^a	346.51±0.45 ^a
30	270.92±0.56 ^{ba}	304.41±0.14 ^{ba}	178.87±0.31 ^{ba}	257.57±0.58 ^{ba}
60	226.42±0.05 ^{ba}	293.65±0.01 ^{ba}	142.45±0.53 ^{ba}	251.06±0.76 ^{ba}
90	206.74±0.16 ^{ba}	281.42±0.66 ^{ba}	101.40±4.66 ^{ba}	153.23±0.45 ^{ba}
120	205.67±0.88 ^{ba}	257.64±0.23 ^{ba}	97.64±0.16 ^{ba}	88.04±0.21 ^{ba}
150	204.26±0.86 ^b	228.15±0.29 ^f	87.56±0.41 ^f	69.53±2.31 ^f
180	176.42±0.07 ^b	128.90±0.30 ^b	28.25±2.20 ^b	52.54±0.52 ^b
210	140.60±0.73 ^b	126.98±0.72 ^b	13.48±1.35 ^b	
240	129.61±0.19 ^b	74.06±0.47 ^b		
270	121.80±0.87 ^b	13.45±0.85 ^b		
300	92.87±0.24 ^b	9.35±0.95 ^b		
310	16.31±0.23 ^b			
340	9.18±0.57 ^b			

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

ANEXO 6 ANÁLISIS DE COLOR PARA EL LF Y T

Tabla 14. Datos de color para muestras secadas en el lecho fluidizado en diferentes tiempos

Coordenadas de color	Temperatur a °C	Tiempo (minutos)					
		0	30	60	90	120	160
a	50	19.16±3.36 ^a	24.24±2.86 ^a	25.37±2.00 ^a	22.79±1.15 ^a	22.46±1.20 ^a	22.35±1.03 ^a
	60	29.09±1.06 ^a	25.35±0.20 ^a	20.13±1.91 ^a	21.22±0.03 ^a	20.91±0.56 ^a	
	70	33.59±2.28 ^a	32.56±0.57 ^a	24.46±0.59 ^a	22.62±1.43 ^a		
	80	37.61±0.79 ^a	26.49±1.66 ^a	21.97±0.18 ^a			
b	50	31.72±1.97 ^b	31.45±0.92 ^b	31.38±0.57 ^{bd}	28.37±0.42 ^d	25.09±1.75 ^d	26.09±1.67 ^d
	60	31.9±1.28 ^b	31.44±0.83 ^b	23.86±0.62 ^{bd}	25.08±0.13 ^d	23.22±0.46 ^d	
	70	36.33±1.40 ^b	33.58±0.24 ^b	31.57±0.44 ^{bd}	25.45±0.48 ^d		
	80	31.96±1.15 ^b	30.86±0.56 ^b	24.12±0.36 ^{bd}			
L	50	22.04±0.79 ^c	18.48±0.42 ^c	17.52±0.29 ^d	15.47±0.75 ^d	14.43±0.68 ^d	15.53±0.63 ^d
	60	17.29±0.25 ^c	16.13±0.50 ^c	15.19±1.14 ^d	15.57±0.045 ^d	15.08±0.72 ^d	
	70	25.05±1.51 ^c	19.09±0.18 ^c	18.98±0.37 ^d	15.04±0.98 ^d		
	80	26.84±0.41 ^c	20.35±0.29 ^c	17.87±0.40 ^d			

*Diferentes letras de índice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

5

6

Tabla 15. Datos de muestras del secador de túnel en diferentes tiempos

Coordenadas de color	Temperatura °C	Tiempo (minutos)											
		0	30	60	90	120	180	210	240	270	300	330	360
a	50	27.79±0.18 ^{ab}	29.16±0.61 ^{ab}	30.19±2.69 ^{ab}	30.2±0.58 ^{ab}	29.7±1.67 ^{ab}	25.43±1.09 ^{ab}	29.93±0.08 ^{ab}	30±0.76 ^{ab}	29.78±1.35 ^{ab}	28.91±1.54 ^{ab}	26.4±0.72 ^{ab}	28.47±3.28 ^{ab}
	60	37.78±0.18 ^{ab}	42.18±1.32 ^{ab}	42.86±1.35 ^{ab}	29.31±2.2 ^{ab}	29.24±0.31 ^{ab}	30.52±0.71 ^{ab}	32.03±0.23 ^{ab}	29.18±1.12 ^{ab}	27.18±1.36 ^{ab}	35.6±0.19 ^{ab}	41.94±0.5 ^{ab}	
	70	28.66±0.14 ^b	26.32±0.68 ^b	25.75±0.13 ^b	27.48±0.56 ^b	24.78±0.53 ^b	29.82±0.39 ^b	26.28±0.31 ^b	42.77±2.86 ^b	35.1±1.32 ^b			
	80	42.77±2.86 ^a	35.1±1.32 ^a	32.39±2.60 ^a	27.55±1.22 ^a	27.66±1.34 ^a	53.07±3.6 ^a	40.67±0.71 ^a					
b	50	33.96±0.65 ^{cd}	29.67±0.66 ^{cd}	31.33±0.95 ^c	23.61±0.38 ^{cd}	27.87±2.48 ^{cd}	25.63±0.73 ^d	28.15±0.31 ^{cd}	26.65±2.94 ^c	24.64±1.25 ^c	21.08±0.49 ^c	24.93±1.03 ^c	23.93±2.21 ^c
	60	29.92±0.56 ^{cd}	34.55±0.63 ^{cd}	34.35±0.60 ^c	29.7±0.24 ^{cd}	28.77±0.07 ^{cd}	27.93±0.64 ^d	25.01±0.33 ^{cd}	27.28±0.47 ^c	27.96±0.42 ^c	30.92±0.42 ^c	32.17±0.14 ^c	
	70	31.15±0.24 ^{cd}	2.16±0.57 ^{cd}	28.87±0.34 ^c	27.49±0.38 ^{cd}	24.24±0.68 ^{cd}	30.15±0.33 ^d	27.73±0.27 ^{cd}	33.5±1.57 ^c	32.08±0.20 ^c			
	80	33.58±1.57 ^{cd}	32.08±0.20 ^{cd}	34.82±1.02 ^c	29.19±0.5 ^{cd}	23.99±1.3 ^{cd}	27.95±0.48 ^d	32.37±0.27 ^{cd}					
L	50	18.4±0.27 ^e	16.25±0.83 ^e	19.19±1.09 ^e	15.99±0.52 ^e	19.59±1.69 ^e	12.61±0.58 ^e	13.97±0.11 ^e	15.99±3.78 ^e	12.21±1.09 ^e	9.93±0.45 ^e	12.9±0.88 ^e	18.4±1.75 ^e
	60	17.72±0.21 ^e	23.74±0.82 ^e	23.78±0.83 ^e	16.94±0.45 ^e	16.29±0.23 ^e	16.12±1.1 ^e	14.18±0.43 ^e	15.11±0.67 ^e	15.36±0.64 ^e	16.41±0.21 ^e	17.95±0.18 ^e	
	70	18.13±0.47 ^e	15.83±0.63 ^e	15.96±0.064 ^e	17.91±0.37 ^e	13.76±0.44 ^e	17.75±0.25 ^e	15.3±0.34 ^e	20.6±2.49 ^e	20.01±0.34 ^e			
	80	20.6±2.49 ^e	20.01±0.34 ^e	19.22±0.75 ^e	16.91±1.67 ^e	11.59±0.87 ^e	17.82±0.14 ^e	20.33±0.31 ^e					

7

*Diferentes letras de indice superior dentro de la columna indican diferencias significativas a P < 0,05

8 Anexo 7. Valores finales para antocianinas, actividad antioxidante y fenoles
 9 en el secado de T, VF y LF.

10

Condición de secado	Tiempo (min)	Antocianinas (mg de cianidina-3 glucósido/100 grss)	Actividad antioxidante (mg de ácido ascórbico/100 grss)	Fenoles (mg de ácido gálico/100 grss)
Fresco	0	25.21±0.19	552.78±0.53	346.51 ± 0.16
VF-50°C	120	15.16±0.66	184.14±0.86	112 ± 0.16
VF-60°C	90	15.75±0.88	177.68±0.96	111.74 ± 0.19
LF-50°C	160	10.65±0.60	210.40±0.36	114.73±0.35
LF-60°C	120	13.75±0.38	190.75±1.39	111.74±0.004
LF-70°C	90	15.32±0.17	264.84±0.36	194.27±2.72
LF-80°C	60	19.75±0.54	302.83±0.25	115.14±0.78
T-50°C	340	3.03±0.10	25.81±0.98	9.18±0.57
T-60°C	300	2.34±0.14	31.174±0.36	9.35±0.95
T-70°C	210	5.76±0.05	36.64±0.37	13.48±1.35
T-80°C	180	7.14±0.002	36.45±0.50	52.54±0.52

BIBLIOGRAFÍA

11

12

13 Aaby K, Ekeberg D, Skrede G. 2007. Characterization of phenolic compounds in strawberry
14 (*Fragaria ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual
15 compounds to total antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*
16 55, 4395–4406.

17 Abdel-Aal ESM, Hucl P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue
18 aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem* 76:350–4

19 Alarcao-e-Silva M., A.E.B. Leitao, H.G. Azinheira, M.C.A. Leitao, 2001. The arbutus berry:
20 studies on its color and chemical characteristics at two mature stages. *J. Food*
21 *Compos. Anal.* 14:27-35.

22 Aneta Wojdylo, Jan Oszmianski. Comparative study of phenolic content and antioxidant
23 activity of strawberry puree, clear, and cloudy juices, 2009, *Eur Food Res Technol.*

24 Akpinar E.K, Y. Bicer, Mathematical modelling and experimental study on thin layer drying
25 of strawberry, *Inter. J. Food Eng.* 2 (1) (2006), article 5.

26 Aktas, T., H. H. Orak, et al. (2013). "Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics
27 and Color Parameters of Strawberry Tree (*Arbutus unedo* L.) Fruit." *Farkly Kurutma*
28 *Metodlarýnyn Kocayemib Meyvesinin (Arbutus unedo L.) Kuruma Kinetikleri ve*
29 *Renk Parametreleri Üzerine Etkileri.* 10(2):1-12.

30 Badui Dergal Salvador, *Química de los alimentos. Cuarta edición* editorial Pearson
31 educación, México, 2006, pág. 422-427.

32 Barbosa-Cánovas, *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de alimentos. Primera edición,*
33 *editorial Mundi- Prensa, México, 2005, pág. 254-257.*

34 Baraona Cockrell Marcia y Barrantes Ellen Sancho *Manzana, Melocotón, Fresa y Mora.*
35 *Fruticultura Especial 6, Editorial Universidad Estatal a Distancia San José Costa*
36 *Rica, 1992, Primera Edicion, Pag 85.*

37 Basu, A., A. Nguyen, et al. (2014). "Strawberry as a Functional Food: An Evidence-Based
38 Review." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54(6): 790-806.

39 Baublis A, Spomer A, Berber-Jimenez MD (1994). Anthocyanin pigments: Comparison of
40 extract stability. *J. Food Sci.* 59:1219-1221

41 Brod, F.P.R., Alonso, L.F.T., Rosa, R.H.C. Minagawa, F.K. and Park, K.J., 1998, Carrot
42 (*Daucus carota* L.) drying in a vibro-fluidized dryer, *Proceedings of the 11th*
43 *International Drying Symposium, Thessaloniki, Greece, pp 1237–1243.*

44 Carrillo Montes Juan Pablo, 2008 tesis de maestría, Efecto del secado del pimiento morrón
45 y su efecto en la calidad, IPN escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

46 Carvajal de Pabón, Luz Marina Dr. C. El Hadi Yahia, Dr. Regulo Cartagena, Dr. Carlos
47 Peláez, Ing. Carlos A. Gaviria, Dr. C. Benjamín Alberto Rojano Antioxidant capacity
48 of two *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (strawberry) varieties subjected to
49 variations in vegetal nutrition, *Revista Cubana de Plantas Medicinales.* 2012;
50 17(1)37-53

- 51 Casp Vanaclocha Ana, Abril José Requena, Procesos de conservación de alimentos.
52 Segunda edición, editorial Mundi-Prensa Barcelona, Madrid, 2003. Pág. 332-334.
- 53 Cordenunsi, B. R., M. I. Genovese, et al. (2005). "Effects of temperature on the chemical
54 composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars." Food Chemistry
55 91(1): 113- 121.
- 56 Colina Irezabal, Maria Luisa, Deshidratación de Alimentos, segunda edición, Editorial trillas,
57 México, D.F.
- 58 Danielsen, S. and Hovmand, S., 1980, Drying of granulated product in a vibrated fluid bed,
59 in Drying 80, Mujumdar, A.S. (Org.) (Hemisphere Publishing, New York, USA), Vol.
60 1, pp 194–199.
- 61 Da Silva Pinto, M., F. M. Lajolo, et al. (2008). "Bioactive compounds and quantification of
62 total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.)." Food Chemistry
63 107(4): 1629-1635.
- 64 Demarchi Silvana M, Natalia A. Quintero Ruiz, Analía Concellón, Sergio A. Giner, Effect of
65 temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple
66 leathers, Food and Bioproducts Processing, 2012.
- 67 Doymaz, İ. (2008). "Convective drying kinetics of strawberry." Chemical Engineering and
68 Processing: Process Intensification 47(5): 914-919.
- 69 Fennema, Owen R. Química de los alimentos, Editorial Acribia, segunda edición, 1993,
70 University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin pág. 331.
- 71 Fernandes, F. N., S. Rodrigues, et al. (2011). "Drying of Exotic Tropical Fruits: A
72 Comprehensive Review." Food and Bioprocess Technology 4(2): 163-185.
- 73 Fito Maupoey, Ana M. Andrés Grau, Ana María Albors Sorolla, José Manuel Barat Baviera
74 introducción al secado de alimentos por aire caliente, universidad politécnica
75 nacional, editorial de la UPV, pág. 30.
- 76 Giampieri, F., S. Tulipani, et al. (2012). "The strawberry: Composition, nutritional quality,
77 and impact on human health." Nutrition 28(1): 9-19.
- 78 Geankoplis, J. Christie, Procesos de transporte y operaciones unitarias, tercera edición,
79 editorial continental, S. A. de C.V, México, 1998, pág. 596-601
- 80 Geldart, D.J. 1989. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. Journal of
81 food Science. 63: 679-683.
- 82 Gupta, R. and Mujumdar, A.S., 1980, Aerodynamics and thermal characteristics of vibrated
83 fluid beds a review, in Drying 80, Mujumdar, A.S. (Org.) (Hemisphere Publishing,
84 New York, USA), Vol. 1, pp 141–1150.
- 85 Halliwell B, Murcia MA, Chirico S, Aruoma OI (1995) Free radicals and antioxidants in food
86 and in vivo: what they do and how they work. Crit Rev Food Sci Nutr 35:7
- 87 Heinonen IM, Meyer AS, Frankel EN. 1998. Antioxidant activity of berry phenolics on human
88 low-density lipoprotein and liposome oxidation. Journal of Agricultural and Food
89 Chemistry 46, 4107–4112.

- 90 Hernández-Bautista E., Sandoval-Torres S., Rodríguez-Ramírez J., & Velasco-Cruz O. A.
91 (2010). Modelización del secado de madera de *Pinus pseudostrobus* utilizando el
92 método de la curva característica. *Bois et forêts des tropiques*, 306(4).
- 93 Horst-Dieter Tscheuschner, Fundamentos de tecnología de los alimentos, Editorial Acribia,
94 S.A, B. Behr's Velarg GmbH & C, Alemania.
- 95 Huang D, Ou B, Prior RL (2005) The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric*
96 *Food Chem* 53:1841. doi:10.1021/jf030723c
- 97 Huang, W.-y., H.-c. Zhang, et al. (2012). "Survey of antioxidant capacity and phenolic
98 composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing." *Journal of Zhejiang*
99 *University SCIENCE B* 13(2): 94-102.
- 100 Ignat, I., I. Volf, et al. (2011). "A critical review of methods for characterization of
101 polyphenolic compounds in fruits and vegetables." *Food Chemistry* 126(4): 1821-
102 1835.
- 103 Jangam, S. V., Joshi, V. S., Mujumdar, A. S., & Thorat, B. N. (2008). Studies on dehydration
104 of sapota (*Achras zapota*). *Drying Technology*, 26, 369–377.
- 105 Juan juan, Z., W. Xin, et al. (2011). "Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria x ananassa*
106 *Duch.*) during fruit development and maturation." *Journal of Experimental Botany*
107 62(3): 1103-1118.
- 108 Kelebek, H. and S. Selli (2011). "Characterization of phenolic compound in strawberry fruits
109 by RP-HPLC-DAD and investigation of their antioxidant capacity." *Journal of Liquid*
110 *Chromatography & Related Technologies* 34(20): 2495-2504.
- 111 Kunni, D. & Levenspiel, O. 1991. *Fluidization Engineering*. U.S.A, Butterwoth-Heinzmann,
112 pág. 61-79.
- 113 Magalhaes LM, Segundo MA, Reis S, Lima JLFC (2008) Methodological aspects about in
114 vitro evaluation of antioxidant properties. *Anal Chim Acta* 613:1. doi:
115 10.1016/j.aca.2008.02.047
- 116 Maritzaa, c, M. Sabaha, b, C.-M. Anabertac, J. G. Montejano-Gaitánc, Comparative study
117 of various drying processes at physical and chemical properties of strawberries 8
118 (*Fragaria var. camarosa*), 20th International Congress of Chemical and Process
119 Engineering CHISA 2012 25–29 August 2012, Prague, Czech Republic, *Procedia*
120 *Engineering* 42 (2012) 267–282.
- 121 Maarse H. 1991. *Volatile compounds in foods and beverages*. New York: Marcel Dekker,
122 483–546.
- 123 Medina Escobar N, Cardenas J, Valpuesta V, Munoz Blanco J, Caballero JL. 1997. Cloning
124 and characterization of cDNAs from genes differentially expressed during the
125 strawberry fruit ripening process by a MAST-PCR-SBDS method. *Analytical*
126 *Biochemistry* 248, 288–296.
- 127 Michalczk, M., Macura, R., & Matuszak, I (2009). The effect of air –drying, freez-drying and
128 store on the quaity and antioxidant activity of some selected berries. *Journal of Food*
129 *Processing and Preservation*, 33,11-21.

- 130 Monreal, R.A., 205. Aprovechamiento del residuo de cascara de manzana (*Malus*
131 *Domesticus*) por medio de un proceso piloto en lecho vibrofluidizado. Tesis de
132 maestría. ENCB, IPN.
- 133 Orak, H., H. Yagar, et al. (2011). "Evaluation of antioxidant and antimicrobial potential of
134 strawberry tree (*Arbutus Unedo* L.) leaf." *Food Science and Biotechnology* 20(5):
135 1249-1256.
- 136 Rahman M. S. 1999, Hand book of food Preservation, Marcel Dekker, Inc. New York U.S.A
137 pp 173-216.
- 138 Rodríguez Méndez Lilia I, Figueroa Cárdenas Juan de Dios, Ramos Gómez Minerva, L.
139 Mendez-Lagunas, Nutraceutical Properties of Flour and Tortillas Made with an
140 Ecological Nixtamalization Process, *Journal of Food Science*, Vol. 78, Nr. 10, 2013.
- 141 Santos-Buelga C, Scalbert A. 2000. Proanthocyanidins and tanninlike compounds: nature,
142 occurrence, dietary intake, and effects on nutrition and health. *Journal of the Science*
143 *of Food and Agriculture*, 80, 1094–1117.
- 144 Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with
145 phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Viticult* 16:144–58.
- 146 Shahidi, F. (2009). "Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods."
147 *Trends in Food Science & Technology* 20(9): 376-387.
- 148 Skupien, K. and J. Oszmianski (2004). "Comparison of six cultivars of strawberries
149 (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown in northwest Poland." *European Food Research*
150 *and Technology* 219 (1): 66-70.
- 151 Szalay A. Erdesx, K, Zagrouba, F and Roques M.A, 1995. Principles for hidrodynamical
152 and geometrical desing of vibrated bed dryers. *Drying technol.* 13(5&7): 1249-1260.
- 153 Pallaufa, b, J.C. Rivas-Gonzaloe, M.D. del Castillo, M.P. Canob, S. de Pascual-Teresa
154 Characterization of the antioxidant composition of strawberry tree (*Arbutus unedo*
155 L.) fruits, *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (2008) 273–281.
- 156 Pakowski, Z., Mujumdar, A.S. and Strumillo, C., 1984, Theory and application of vibrated
157 beds and vibrated fluid beds for drying process, in *Advances in Drying*, Mujumdar,
158 A.S. (Org.). (Hemisphere Publishing, New York, USA), Vol. 3, pp 245–306.
- 159 Pérez, A.C., 2000. Estudio del proceso de secado de trigo en un sistema de lecho
160 vibrofluidizado. Tesis de maestría. UAM Iztapalapa.
- 161 Pérez-Gil. J. (2002). Análisis y selección de un sistema de medición y control para un túnel
162 de secado de Madera., Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez.
- 163 Perkins-Veazie P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews* 17,
164 267–297
- 165 Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63, 1035–
166 1042.
- 167 Vizcarra, G.M, Pérez, C, Martínez, C. Ruiz, 2001. Wheat drying analysis in a vibrofluidized
168 bed. *Proceedings of the Second Interamerican Drying Conference*. Boca del Rio,
169 Veracruz, México. pág. 227-233.
- 170 <http://www.siap.gob.mx/fresa/>. Consultado el 17 de febrero del 2016.