

Índice General

Resumen	i
Resum.....	ix
Abstract	xv
1. JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN	1
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. Aspectos generales del secado convectivo.....	9
2.1.1. Fundamentos del secado por aire caliente.....	10
2.1.2. Etapas del proceso.....	11
2.1.3. Eficiencia del proceso	13
2.1.4. Aspectos de calidad relacionados con el secado.....	17
2.1.5. Modelización del proceso	19
2.1.6. Propiedades físicas relevantes en el secado de alimentos	23
2.2. Secado intermitente.....	39
2.2.1. Secado intermitente por suministro periódico de energía térmica.....	40
2.2.2. Estudio de la influencia de la intermitencia sobre la eficiencia del proceso y sobre la calidad del producto	44
2.2.3. Modelización y simulación del proceso de secado intermitente.....	49
2.3. El mango.....	54
2.3.1. Características generales	54
2.3.2. Importancia económica.....	55
2.3.3. Secado de mango.....	56
2.4. Consideraciones finales	61
3. OBJETO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
4. MATERIALES Y MÉTODOS	69
4.1. Experiencias de secado	71
4.1.1. Descripción de los esquemas de operación.....	71
4.1.2. Descripción del sistema de secado	73
4.1.3. Materia prima.....	76

4.1.4.	Preparación de las muestras.....	77
4.1.5.	Cinéticas de secado	78
4.2.	Modelización de las cinéticas de secado	84
4.2.1.	Transferencia de materia	85
4.2.2.	Transferencia de calor	86
4.2.3.	Condiciones iniciales y de contorno	89
4.3.	Propiedades físicas del mango	94
4.3.1.	Conductividad térmica	94
4.3.2.	Calor específico	97
4.3.3.	Isotermas de sorción y calor isostérico de sorción	102
4.3.4.	Coeficientes de transferencia interfaciales.....	105
4.4.	Identificación paramétrica y validación del modelo difusional ..	108
4.4.1.	Experiencias de secado utilizadas en la identificación y la validación	108
4.4.2.	Modelo de la difusividad efectiva.....	109
4.4.3.	Definición de los criterios de ajuste	110
4.4.4.	Procedimiento de identificación	111
4.5.	Optimización del proceso de secado intermitente	113
4.5.1.	Formulación de la función objetivo	113
4.5.2.	Formulación del problema de optimización	116
4.6.	Simulación y optimización computacional	118
4.6.1.	Modelización mediante COMSOL Multiphysics®	118
4.6.2.	Desarrollo de algoritmos en Matlab® para la identificación del modelo, y la simulación y optimización del proceso.....	122
4.7.	Análisis estadístico y estimación de parámetros.....	124
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	125
5.1.	Propiedades físicas del mango	128
5.1.1.	Conductividad térmica	128
5.1.2.	Calor específico	130
5.1.3.	Isotermas de sorción y calor isostérico de sorción	134
5.2.	Algoritmos computacionales	139
5.2.1.	Algoritmos para la resolución del modelo del proceso....	139
5.2.2.	Algoritmos para la identificación paramétrica	143
5.2.3.	Algoritmos para la optimización del proceso.....	143

5.3.	Experiencias de secado	147
5.3.1.	Materia prima.....	147
5.3.2.	Cinéticas de secado	147
5.4.	Identificación paramétrica y validación del modelo.....	151
5.4.1.	Identificación paramétrica de la difusividad efectiva.....	151
5.4.2.	Validación del modelo difusivo	159
5.5.	Influencia de las condiciones de operación sobre la cinética del proceso	163
5.6.	Análisis del proceso de secado intermitente: Optimización	170
5.6.1.	Duración óptima de los periodos de calentamiento y reposo	170
5.6.2.	Comparación entre procesos de secado continuo e intermitente.....	173
6.	CONCLUSIONES.....	189
7.	RECOMENDACIONES.....	195
8.	NOMENCLATURA	199
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	207
10.	ANEXOS	219
Anexo 1.	Cámara de secado del equipo de laboratorio utilizado en las experiencias	221
Anexo 2.	Trasferencia de calor por conducción a través de la celda utilizada en la medición del calor específico	223
Anexo 3.	Conductividad térmica de la pulpa de mango.....	225
Anexo 4.	Calor específico de la materia seca del mango	227
Anexo 5.	Calor específico de la pulpa de mango.....	229
Anexo 6.	Densidad de la pulpa de mango	231
Anexo 7.	Isotermas de sorción de la pulpa de mango.....	235
Anexo 8.	Programas desarrollados en MATLAB.....	239
Anexo 8.1.	Módulo para la simulación de los periodos de calentamiento.....	239
Anexo 8.2.	Módulo para la simulación de los periodos de Reposo	243

Anexo 8.3.	Simulación del proceso de secado continuo.....	245
Anexo 8.4.	Simulación del proceso de secado intermitente....	246
Anexo 8.5.	Cálculo de la función objetivo para la identificación de los parámetros y la validación del modelo	247
Anexo 8.6.	Cálculo de la función objetivo para la optimización del proceso de secado intermitente..	248
Anexo 8.7.	Identificación de los parámetros y validación del modelo.....	249
Anexo 8.8.	Optimización del proceso de secado intermitente	250
Anexo 9.	Información experimental para la validación de los parámetros del modelo de la difusividad efectiva.....	251
Anexo 10.	Resultados de la validación del modelo de la difusividad efectiva en experiencias de secado intermitente	255
Anexo 11.	Evolución de la ganancia entálpica en procesos de secado continuo e intermitente.....	257
Anexo 12.	Evolución del contenido de humedad y la temperatura local en procesos de secado intermitente	259
Anexo 13.	Evolución de la velocidad de secado en procesos de secado continuo e intermitente.....	261
Anexo 14.	Contribución científica asociada al desarrollo de la tesis.....	263