

ÍNDICE GENERAL

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia del agua en los alimentos	1
1.2 Termodinámica del agua en sistemas complejos	3
1.2.1 Potencial químico del agua (μ_w)	3
1.2.2 Actividad del agua (a_w)	4
1.2.2.1 Factores que afectan a la a_w	5
1.2.2.2 Métodos de medida de la a_w	6
1.2.3 Transiciones de fase en alimentos	8
1.2.3.1 Transiciones de primer orden.	9
1.2.3.2 Transiciones de segundo orden.	9
1.2.3.3 Transiciones de fase características del almidón.	10
1.2.3.4 Análisis de transiciones de fase mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC)	12
1.2.4 Determinación de la estabilidad de los alimentos	14
1.2.4.1 Relación calidad- a_w . Influencia de la a_w en ciertas reacciones en alimentos	15
1.3 Procesos de deshidratación/rehidratación en alimentos.	19
1.3.1 Procesos de deshidratación en alimentos	19
1.3.2 Contracción durante el secado de alimentos. Influencia de las variables de secado	25
1.3.3 Procesos de rehidratación en alimentos	26
1.4 Isotermas de sorción de agua	27
1.4.1 Histéresis en alimentos	32
1.4.2 Aplicaciones de las isotermas de sorción	35
1.4.2 Modelización de las isotermas de sorción	36
1.5 La metodología SAFES	37
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	41
2.1 Objetivos	41
2.1.1 Objetivo general	41
2.1.2 Objetivos específicos	41

2.2 Plan de Trabajo	42
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.1 Materia prima	47
3.1.1 Yuca (<i>Manihot sculenta</i>)	47
3.1.2 Garbanzo (<i>cicer arietinum</i> L.)	48
3.2 Determinación de propiedades fisicoquímicas	49
3.2.1 Determinación de la humedad	49
3.2.2 Determinación de los sólidos solubles	50
3.2.3 Determinación de la a_w	52
3.2.4 Determinación de volumen, excentricidad y superficie en garbanzo	53
3.2.5 Determinación de la densidad en garbanzo	54
3.3 Análisis calorimétrico (DSC)	55
3.4 Observaciones microestructurales mediante Cryo-SEM	57
3.5 Ensayos de propiedades mecánicas	58
3.6 Obtención de isothermas de sorción de agua	60
3.6.1 Obtención de isothermas de desorción de agua en tejido de yuca	60
3.6.2 Obtención de isothermas de adsorción de agua en tejido de yuca	61
3.6.3 Obtención de isoterma de sorción de agua en garbanzo	62
3.6.4 Modelización de las isothermas de adsorción y desorción de agua	64
3.7 Estudio de los cambios asociados al secado por aire caliente de láminas de yuca	65
3.8 Relaciones matriz-agua-soluto en yuca durante procesos de deshidratación osmótica	66
3.8.1 Estudio de la deshidratación osmótica de yuca con sacarosa	66
3.8.2 Estudio de la deshidratación osmótica de yuca con NaCl	67
3.9 Experimentos de rehidratación y cocción en garbanzo	68
3.9.1 Rehidratación de garbanzo	68
3.9.2 Cocción de garbanzo	69
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA COMENTADA DE MODELOS PROPUESTOS PARA ISOTERMAS	71

5. ESTUDIO DE LAS INTERACCIONES PROTEÍNA-AGUA-SOLUTO	95
5.1 Introducción al modelo termodinámico. Antecedentes.	95
5.1.1 Descripción del sistema agua-proteína-NaCl en sistemas cárnicos salados en procesos de adsorción/desorción de agua	97
5.2 Resultados	109
5.2.1 Aplicación del modelo termodinámico propuesto a diversos sistemas agua-proteína-soluto en carne	109
5.2.2 Estudio de la influencia de la temperatura en las relaciones agua-matriz-sólido soluble mediante el modelo de Fito <i>et al.</i>	114
5.2.3 Aplicación práctica de la metodología SAFES al estudio de las interacciones agua-NaCl-proteína durante procesos de desorción de agua a diversas temperaturas	118
5.2.4 Aplicación del modelo termodinámico propuesto a diversos sistemas agua-proteína de queso-soluto	143
5.2.4.1 Desarrollo de un modelo general para la predicción de la a_w en queso	146
5.2.4.2 Estudio del reparto de agua y NaCl en sistemas queseros	162
5.2.5 Estudio de sistemas matriz-sacarosa mediante el modelo termodinámico propuesto	169
5.3 Conclusiones y Recomendaciones	175
6. ESTUDIO DE LAS RELACIONES AGUA-MATRIZ EN LA REHIDRATACIÓN Y COCCIÓN DE GARBANZO	179
6.1 Introducción	179
6.1.1. Descripción botánica y variedades del garbanzo	179
6.1.2. Anatomía del fruto y la semilla de garbanzo.	180
6.1.3. Composición química del garbanzo	181
6.1.4. Consumo y comercio	182
6.1.5 El proceso de rehidratación y cocción en garbanzo	183
6.1.5.1 La rehidratación	183
6.1.5.2 La cocción	185
6.1.6. Aspectos de calidad en el procesado del garbanzo	186
6.2 Resultados	188

6.2.1 Introducción sobre la aplicación del método SAFES al análisis del proceso de rehidratación y cocción de garbanzos. Definición del espacio de las fases estructuradas, los componentes y los estados de agregación	188
6.2.2 Análisis experimental de la operación de rehidratación. Efecto sobre las propiedades mecánicas	191
6.2.2.1 Caracterización de la materia prima	191
6.2.2.2 Comprobación de balances	193
6.2.2.3 Estudio macroscópico de la operación de rehidratación	195
6.2.2.4 Análisis microestructural de la operación de rehidratación	202
6.2.2.5 Análisis de la hidratación de la cubierta en garbanzo mediante ensayos de punción	216
6.2.3 Estudio de las interacciones agua-solutos-matriz insoluble a lo largo del proceso de rehidratación	224
6.2.4 Análisis experimental de la operación de cocción. Efecto sobre las propiedades mecánicas	228
6.2.5 Análisis de los puntos críticos y las etapas de cambio en las operaciones de rehidratación y cocción: matriz del proceso	240
6.2.6. Construcción de las matrices descriptivas y de cambio	245
6.3 Conclusiones	255
7. ESTUDIO DE LAS RELACIONES AGUA-MATRIZ-SOLUTO EN TEJIDO DE YUCA (<i>Manihot sculenta</i>).....	257
7.1 Introducción	257
7.1.1 La yuca como alimento básico	257
7.1.2. Descripción de la raíz de yuca	258
7.1.3 Composición química y valor nutritivo de la raíz de yuca.	260
7.1.4 Aspectos antinutricionales de la yuca: contenido en ácido cianhídrico (HCN)	262
7.1.5 El almidón de yuca	263
7.1.6 Comercio y usos de la yuca	264
7.2 Resultados y discusión	266
7.2.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima	266

7.2.2 Estudio de la metodología para la determinación de humedad en tejido de yuca	267
7.2.3 Deshidratación por aire caliente a baja temperatura	269
7.2.4 Relaciones humedad-actividad de agua. Isotermas de sorción	271
7.2.4.1 Determinación de isotermas de adsorción y desorción de agua a 10°C, 30°C y 50°C	271
7.2.4.2 Modelización de las isotermas de sorción de agua	276
7.2.5 Análisis del efecto de la temperatura en el fenómeno de desorción de agua en yuca. Calor isostérico de desorción de agua	280
7.2.5.1 Humedad de monocapa	280
7.2.5.2 Propiedades termodinámicas	282
7.2.6 Estudio de la deshidratación osmótica de yuca	294
7.2.7.1 Comprobación de balances	294
7.2.7.2 Evolución de la composición de la yuca durante la deshidratación osmótica con sacarosa	296
7.2.7 Estudio de la deshidratación osmótica con disolución de sacarosa en tejido de yuca mediante la metodología SAFES	302
7.2.7.1 Construcción de la matriz descriptiva $M_{0,0}$.	303
7.2.7.2 Construcción de la matriz descriptiva $M_{1,1}$.	306
7.2.7.3 Construcción de la matriz descriptiva $M_{2,2}$.	308
7.2.7.4 Construcción de la matriz descriptiva $M_{3,3}$.	310
7.2.8 Evolución de la composición de la yuca durante la deshidratación osmótica con disolución acuosa de NaCl	315
7.2.9 Estudio calorimétrico de tejido de yuca a diferentes niveles de humedad	318
7.3 Conclusiones	327
8. CONCLUSIONES GENERALES	329
9. BIBLIOGRAFÍA	333
10. ANEXOS	359
ANEXO A1. Aplicación del modelo termodinámico de Fito <i>et al.</i>	347
A1.1 Aplicación del modelo de Fito <i>et al.</i> a sistemas cárnicos salados. Modelización de isotermas	359

Índices y Nomenclatura

A1.2 Construcción de la isoterma de un producto cárnico salado	362
A1.3 Cálculo de un valor de a_w determinado aplicando el modelo propuesto por Fito et al. a partir de la composición	363
ANEXO A2. Aplicación del modelo safes en la desorción de agua en sistemas agua-nacl-proteína	365
ANEXO A3. Modelización de un sistema paracaseína-agua	367
ANEXO A4. Cálculo de matrices safes en rehidratación de garbanzo	373
A4.1 Construcción de la matriz descriptiva $M_{0,0}$	373
A4.2 Construcción de la matriz descriptiva $M_{1,1}$	376
A4.3 Construcción de la matriz descriptiva $M_{2,2}$	380
ANEXO A5. Termogramas obtenidos en dsc para tejido de yuca	385