

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	iv
Resum	vi
Abstract.....	x
Índice.....	xiii
Capítulo 1: Introducción, justificación, objetivos y organización de la tesis	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Justificación.....	3
1.3- Objetivos.....	5
1.4- Organización de la tesis	6
Capítulo 2: Estado del arte de las técnicas tridimensionales e hiperespectrales en la industria alimentaria.....	8
1.1.- Estado del arte de sensores tridimensionales (3D).....	8
1.1.1.- Técnicas de obtención de información tridimensional	8
1.1.1.1.- Técnicas basadas en luz estructurada	9
1.1.1.2.- Técnicas basadas en tiempo de vuelo	11
1.1.1.3.- Técnicas basadas en interferometría	13
1.1.1.4.- Técnicas basadas en rayo x.....	14
1.1.1.5.- Técnicas basadas en campos magnéticos	14
1.1.1.6.- Técnicas basadas en estéreo visión.....	15
1.1.1.7.- Técnicas basadas en cámaras en movimiento	17
1.1.1.8.- Técnicas basadas en acomodación de enfoque	17
1.1.1.9.- Técnicas basadas en conocimiento de la escena	18
1.1.1.10.- Técnicas basadas en estéreo fotométrico.....	18

Índice

1.1.1.11.- Técnicas basadas en el análisis de textura	19
1.1.2.- Revisión del estado del arte de las técnicas 3D en la industria alimentaria	19
1.2.- Técnicas hiperespectrales de visión por computador	23
1.2.1.- Fundamentos de la técnica hiperespectral	23
1.2.1.1.- Radiación electromagnética	23
1.2.1.2.- Radiación NIR.....	25
1.2.1.3.- Origen	27
1.2.2.- Contexto actual.....	27
1.2.3.- Diferencias entre espectroscopia, análisis de imagen en visible e hiperespectral	29
1.2.4.- Ventajas y desventajas de las técnicas hiperespectrales	31
Capítulo 3: Aportaciones de las técnicas 3D.....	33
1.- Introducción.....	33
2.- Caso práctico: Comparación de las técnicas TOF y SL para la medida en línea de producción de alimentos de origen animal y vegetal.....	33
2.1.- Descripción del estudio	33
2.2.- Sistema tridimensional por tiempo de vuelo (TOF).....	34
2.3.- Sistema tridimensional por luz estructurada (SL).....	36
2.4.- Resultados.....	40
2.5.- Conclusiones	45
2.6.- Aportaciones del estudio.....	46
3.- Caso práctico: Detección de raíces en tubérculos mediante una técnica tridimensional por luz estructurada	46
3.1.- Descripción del estudio	46
3.2.- Sistema tridimensional por luz estructurada	47
3.3.- Procesamiento de la información tridimensional	48

Índice

3.4.- Resultados.....	53
3.5.- Conclusiones	56
3.6.- Aportaciones del estudio	57
4.- Caso práctico: Determinación de la compacidad de racimos de uva basándose en descriptores 3D usando técnicas de estéreo visión.....	58
4.1.- Descripción del estudio	58
4.2.- Sistema tridimensional por visión estéreo	59
4.3.- Reconstrucción 3D de los racimos de uva usando visión estereoscópica.....	60
4.3.1.- Aproximación automática	62
4.3.2.- Refinamiento manual	64
4.4.- Descriptores 3D y modelos.....	66
4.5.- Resultados.....	71
4.5.1.- Resultados de los componentes de calidad del racimo	73
4.5.2.- Resultados de otros componentes de productividad del racimo	77
4.6.- Conclusiones	78
4.7.- Aportaciones del estudio	79
Capítulo 4: Aportaciones técnicas hiperespectrales.....	80
1.- Introducción.....	80
1.1.- Definición de frescura.....	80
1.2.- Degradación de alimentos	81
2.- Análisis de frescura de productos alimentarios	83
2.1.- Configuración y calibrado del equipo	84
2.2.- Segmentación espacial	88
2.3.- Preprocesado	89
2. 4.- Análisis estadístico multivariante	90
2. 5.- Selección de longitudes de onda	90

Índice

2. 6.- Validación de resultados.....	91
3.- Caso práctico: evaluación de tres sistemas de iluminación	92
4.- Caso práctico: estudio de frescura en jamón de pavo y jamón cocido.....	95
4.1.- Descripción del estudio	95
4.2.- Análisis destructivos	95
4.3.- Equipo hiperespectral utilizado y condiciones de adquisición.....	96
4.4.- Análisis estadístico realizado	98
4.5.- Resultados imágenes hiperespectrales	98
4.6.- Conclusiones	102
4.7.- Aportaciones del estudio.....	103
5.- Caso práctico: estudio de frescura en pechuga de pollo.....	104
5.1.- Descripción del estudio	104
5.2.- Análisis destructivos	104
5.3.- Equipo hiperespectral utilizado y condiciones de adquisición.....	105
5.4. – Modelos estadísticos empleados.....	106
5.5.- Resultados de las imágenes hiperespectrales.....	106
5.6.- Correlación entre los análisis destructivos y los no destructivos.....	111
5.7.- Conclusiones	111
5.8.- Aportaciones del estudio.....	112
6.- Caso práctico: detección de caducidad en salmón ahumado	113
6.1.- Descripción del estudio	113
6.2.- Análisis destructivo.....	114
6.3.- Equipo hiperespectral utilizado y condiciones de adquisición.....	115
6.4.- Segmentación espacial	116
6.4.1.- Modelo de color	116
6.4.2.- Segmentación basada en RGB	118

Índice

6.5.- Resultados imagen hiperespectral	119
6.6.- Conclusiones	124
6.7.- Aportaciones del estudio	125
Capítulo 5: Aportaciones de la combinación de técnicas 3D e hiperespectrales.....	126
1.- Introducción.....	126
2.- Caso práctico: Estudio de la capacidad fermentativa de harinas de trigo evaluadas mediante análisis reológicos y de 3D, respecto a su capacidad de fermentación mediante técnicas hiperespectrales	127
2.1.-Descripción del estudio	127
2.2.- Preparación de la masa y del proceso de fermentación	128
2.3.- Análisis reológicos	129
2.4.- Sistema de adquisición hiperespectral.....	129
2.5.- Sistema de adquisición tridimensional.....	131
2.6.- Resultados.....	133
2.6.1.- Resultados del sistema tridimensional.....	133
2.6.2.- Resultados imagen hiperespectral	135
2.7.- Conclusiones	139
2.8.- Aportaciones del estudio	140
3.- Caso práctico: estudio de frescura en <i>sparus aurata</i> usando técnicas hiperespectrales y segmentación 3D.....	141
3.1.-Descripción del estudio	141
3.2.- Análisis destructivos	141
3.3.- Equipo utilizado	141
3.3.1.- Sistema de adquisición hiperespectral.....	142
3.3.2.- Sistema de adquisición tridimensional.....	143
3.4.- Segmentación espacial mediante 3D	144

Índice

3.5.- Resultados imagen hiperespectral	146
3.6.- Conclusiones	148
3.7.- Aportaciones del estudio	149
Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros	150
1.- Conclusiones	150
2.- Trabajos futuros.....	153
3.- Publicaciones	154
Apéndice A: Modelos estadísticos para el análisis de imagen multivariante.....	158
1.- PCA.....	158
1.1.-Fundamento	158
1.2.-Matemáticas del PCA.....	159
1.2.1.- Método basado en correlaciones	160
1.2.2.- Método basado en las covarianzas	161
1.1.3. Limitaciones	162
1.1.4.- Parámetros estadísticos	162
2.- PLS.....	164
2.1. - NIPALS.....	164
2.2.- SIMPLS	166
3.- Métodos de clasificación	167
3.1.- K-means	169
3.2.- SIMCA.....	171
3.3.- PLSDA	172
3.4.- Adaboost.....	172
3.4.1- Algoritmo Minimalist Real Adaboost (Barnes et al., 2010b)	174
3.5. SVM	175
3.5.1 ϵ -SVR	176

Índice

4.- Selección de variables.....	177
4.1. Algoritmos genéticos	178
4.2. Intervalos de PLS	180
Bibliografía	181