

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. La Resonancia Magnética RM y el análisis de imágenes de RM.....	9
2.1.1. Principios básicos de la RM.....	10
2.1.1.1. Comportamiento del momento magnético.....	13
2.1.1.2. Efecto de una onda electromagnética.....	18
2.1.1.3. Fenómenos de relajación.....	20
2.1.1.4. Medida de la señal de inducción libre FID.....	25
2.1.1.5. Secuencias base para la determinación de los tiempos de relajación.....	28
2.1.1.6. Determinación de los tiempos de relajación.....	31
2.1.2. Equipo básico para medir RM.....	34
2.1.3. Análisis de imágenes obtenidas por resonancia magnética RMI.....	35
2.1.3.1. Codificación espacial de la señal y reconstrucción de la imagen.....	35
2.1.3.2. Pulsos en las secuencias de RMI.....	41
2.1.3.3. Campo de visión y matriz de una imagen.....	42
2.1.3.4. Tiempo de reconstrucción de una imagen.....	45
2.1.4. Principales técnicas de reconstrucción de imágenes.....	46
2.1.4.1. Secuencia de reconstrucción Espín-Eco (SE).....	46
2.1.4.2. Secuencia de reconstrucción Inversión-Recuperación (IR).....	47
2.1.4.3. Secuencia de reconstrucción Gradiente-Eco (GE).....	48
2.1.4.4. Secuencia RARE.....	49
2.1.4.5. Técnicas de imágenes instantáneas.....	49
2.1.5. Factores de calidad de la imagen.....	49
2.1.5.1. Relación señal-ruido.....	50
2.1.5.2. El Contraste.....	52
2.1.5.3. La resolución espacial.....	53
2.1.5.4. Artefactos.....	54
2.1.5.5. Relaciones entre los factores de calidad.....	56
2.2. Equipos y tecnología para RMI.....	57
2.2.1. Magneto o imán principal.....	57
2.2.2. Bobinas de gradiente.....	59
2.2.3. Bobinas de RF.....	60
2.2.4. Sistema de procesamiento y visualización.....	61
2.3. Aplicaciones de la RM en el sector agroalimentario.....	61
2.4. Estudios de RM en frutas y vegetales.....	64
2.4.1. Crecimiento de los frutos.....	64
2.4.2. Evaluación de maduración.....	65
2.4.3. Detección de defectos internos.....	67

2.4.3.1.	Daños por insectos y hongos.....	67
2.4.3.2.	Magulladuras.....	67
2.4.3.3.	Semillas y hueso.....	68
2.4.4.	Estudios de desordenes fisiológicos.....	68
2.4.4.1.	Daños por heladas en campo.....	69
2.4.4.2.	Corazón acuoso (“watercore”).....	69
2.4.4.3.	Degradación acuosa (“core breakdown”).....	70
2.4.4.4.	Pardeamiento interno (“internal browning”).....	70
2.4.4.5.	Harinosidad (“mealiness, “woolliness”) y mal radiante (“internal breakdown”)	71
2.4.4.6.	Daño por frío (chilling injury).....	72
2.4.4.7.	Daño por congelamiento (“freezing”).....	73
2.4.4.8.	Daño por tratamiento térmico.....	74
2.4.5.	Otros estudios en procesamiento poscosecha.....	74
2.5.	Sensores de RM desarrollados para productos agrícolas.....	74

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS..... 77

3.1. Objetivo general..... 79

3.2. Objetivos específicos..... 79

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS..... 81

4.1. Equipo de RMI..... 83

4.2. Sistema de captación de imágenes RMI..... 85

4.3. Otros equipos utilizados en la investigación..... 85

4.4. Material vegetal y descripción de daños internos..... 86

4.4.1. Melocotones y nectarinas..... 86

4.4.1.1. Daño por hongo saprofito desconocido..... 86

4.4.1.2. Daño por frío..... 86

4.4.1.3. Daño por la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* Wied..... 87

4.4.2. Cítricos..... 88

4.4.2.1. Daño por *Alternaria alternata* Keissl pv *citri*..... 88

4.4.2.2. Daño por *Botrytis cinerea* Pers..... 89

4.4.2.3. Daño por *Diplodia natalensis* Pole-Evans..... 89

4.4.2.4. Daño por helada..... 90

4.5. Selección de secuencias para la obtención de imágenes internas de alta calidad..... 91

4.5.1. Melocotones..... 91

4.5.2. Cítricos..... 93

4.5.3. Procesamiento digital de las imágenes y análisis de criterios de calidad..... 94

4.6.	Preparación de muestras y adquisición de imágenes.....	97
4.6.1.	Melocotones.....	97
4.6.1.1.	Ensayo preliminar.....	97
4.6.1.2.	Frutos con hongo saprofito.....	101
4.6.1.3.	Daño por frío durante el almacenamiento.....	102
4.6.1.4.	Frutos con picadura de <i>Ceratitits capitata</i>	104
4.6.2.	Cítricos.....	106
4.6.2.1.	Inoculación de hongos.....	106
4.6.2.2.	Frutos afectados por heladas en campo.....	109
4.7.	Algoritmos desarrollados para la detección de daños.....	110
4.7.1.	Algoritmos empleados en los melocotones.....	111
4.7.1.1.	Detección de daños producidos por el hongo saprofito y por frío.....	111
4.7.1.2.	Detección del daño por picadura de mosca.....	114
4.7.2.	Algoritmos empleados para la detección de daños en cítricos.....	114
4.8.	Herramientas de análisis de imagen y de programación.....	115
4.8.1.	Calibración de los píxeles.....	116
4.8.2.	Selección de regiones de interés (ROI).....	116
4.8.3.	Herramientas estadísticas.....	116
4.8.4.	Operaciones de procesamiento de imagen.....	117
4.8.5.	Análisis de manchas.....	119
4.8.6.	Aplicación de modelos.....	120
4.8.7.	Escritura y ejecución de macros.....	121
4.9.	Evaluación de los algoritmos.....	123
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		125
5.1.	Selección de secuencias de RMI para la obtención de imágenes internas de alta calidad.....	127
5.1.1.	Melocotones.....	127
5.1.2.	Cítricos.....	144
5.2.	Resultados del ensayo preliminar en melocotones.....	153
5.2.1.	Frutos inoculados con <i>Penicillium digitatum</i>	153
5.2.2.	Daño por larvas de <i>Ceratitits capitata</i> Wied.....	160
5.2.3.	Frutos almacenados a muy baja temperatura.....	165
5.3.	Algoritmos desarrollados para la detección de daños.....	173
5.3.1.	Detección en melocotones.....	173
5.3.1.1.	Imágenes RMI con daño por hongo saprofito.....	174
5.3.1.2.	Imágenes RMI con daño por frío.....	175
5.3.1.3.	Imágenes RMI con picadura de <i>Ceratitits capitata</i> Wied.....	188
5.3.2.	Detección en cítricos.....	197
5.3.2.1.	Imágenes RMI con daño por hongos.....	197
5.3.2.2.	Imágenes RMI con daño por heladas.....	201

5.4.	Evaluación de los algoritmos.....	210
5.4.1.	Melocotones.....	210
5.4.1.1.	Seguimiento y detección anticipada del daño por frío.....	212
5.4.1.2.	Resultados en la detección automática.....	218
5.4.2.	Cítricos.....	222
5.4.2.1.	Seguimiento de la detección del daño por hongos en cítricos.....	225
5.4.2.2.	Detección del daño por heladas en campo.....	231
CAPITULO 6.	PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN.....	235
CAPITULO 7.	CONCLUSIONES.....	243
CAPITULO 8.	SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS.....	249
CAPITULO 9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	253
ANEXOS	269